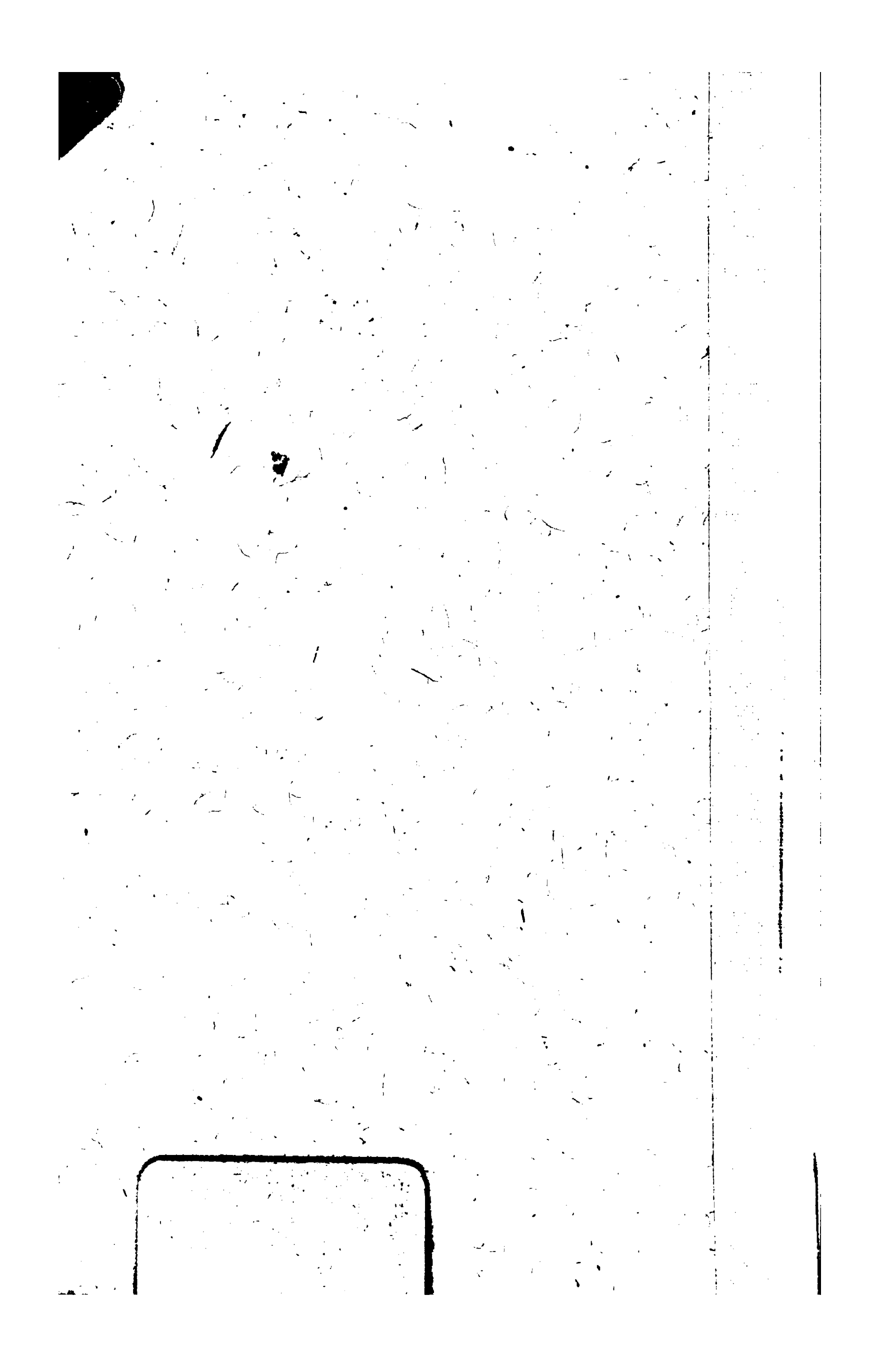
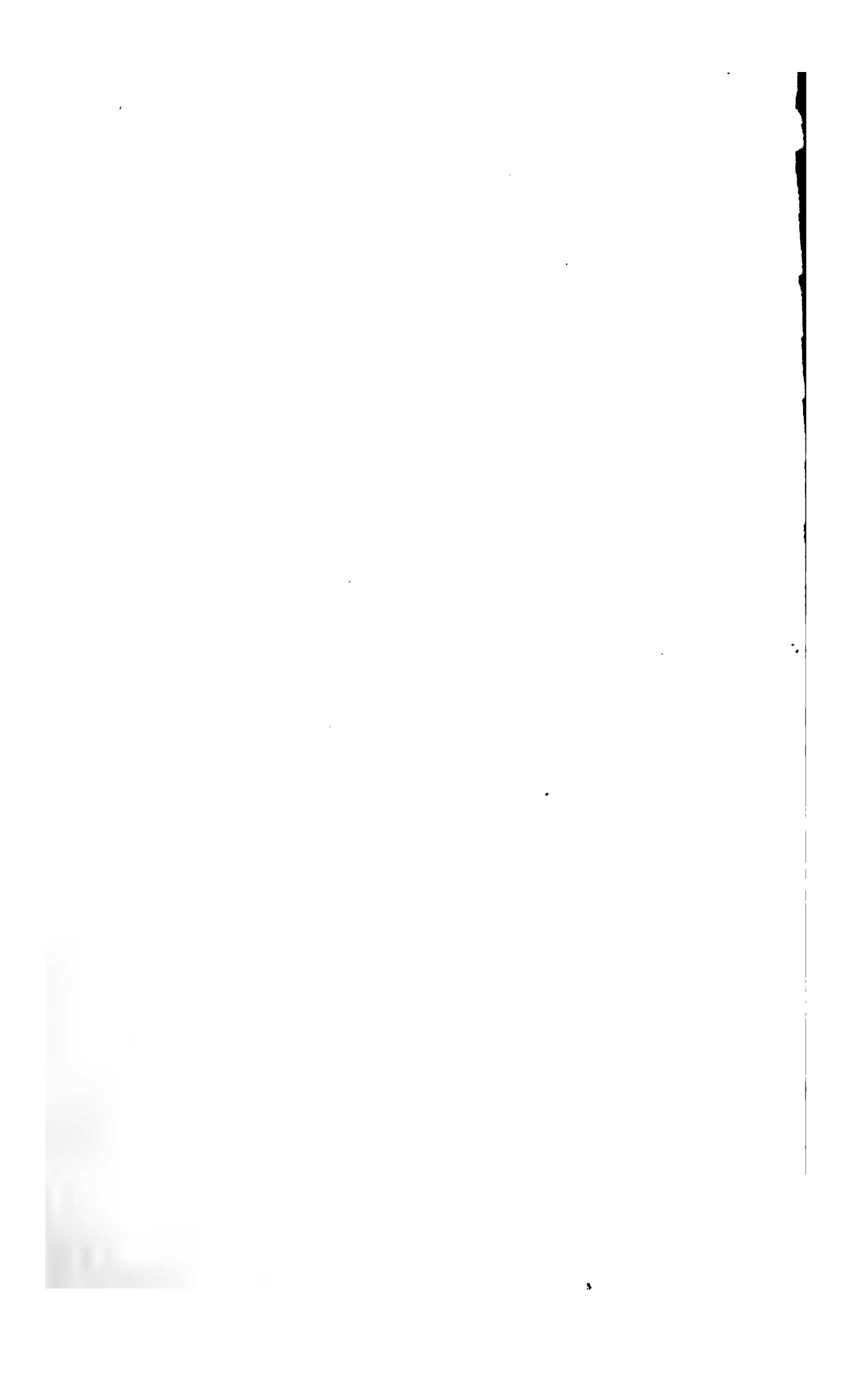

NYPL RESEARCH LIBRARIES
3 3433 06637467 3







Katechismus der Elektrotechnik.

Katechismus

der

Elektrotechnik.

Ein Lehrbuch

für

Praktiker, Techniker und Industrielle.

Von

Th. Schwartze,
Ingenieur.

Zweite, verbesserte und vermehrte Auflage.

Mit 352 in den Text gedruckten Abbildungen.

Leipzig

Verlagsbuchhandlung von J. J. Weber

1883.

Katechismus der Elektrotechnik.

Ein Lehrbuch für Praktiker, Techniker und Industrielle.

Von

Th. Schwartze,

Ingenieur.

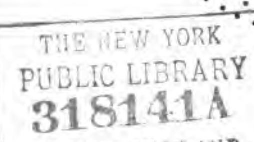
Zweite, verbesserte und vermehrte Auflage.

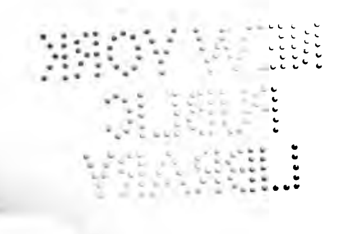
Mit 352 in den Text gedruckten Abbildungen.

Leipzig

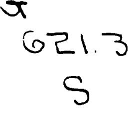
Verlagsbuchhandlung von J. J. Weber

1883.









Vorwort.

Die günstige Kritik, welche diesem Katechismus zuteil wurde, und der überraschend günstige Erfolg, der sich in dem raschen Absatz der ersten Auflage herausstellte, haben Anlaß gegeben, den Inhalt der vorliegenden zweiten Auflage nach verschiedenen Richtungen hin zu erweitern, um den mehrfach geäußerten Wünschen Rechnung zu tragen und um das Wichtigste von dem großen Gebiete der Elektrotechnik zusammenzufassen und den Lesern, so viel als innerhalb der gezogenen Grenzen möglich, einen Gesamtüberblick über die bezüglichen neuesten Errungenschaften auf diesem Gebiete zu gewähren. So sind insbesondere die Kapitel über die elektrischen Meßapparate, die Akkumulatoren, die Dynamomaschinen, die Beleuchtung, die Krafttransmission und die Telephone mehr oder minder erweitert und vervollständigt worden. Wenn dies mit dem wichtigen Gebiete der elektrischen Telegraphie nicht der Fall ist, so möchte der Verfasser etwaigen Bemerkungen über diesen Umstand mit dem Hinweis entgegenkommen, daß erst kürzlich in demselben Verlage der vortreffliche Katechismus der elektrischen Telegraphie von Prof. Dr. Zetzsche in sechster Auflage erschienen ist, welcher in dieser Beziehung alles nur Wünschenswerte bietet; auch war

der Umfang dieses Büchleins, trotz der bis an die äusserste Grenze gehenden Erweiterung, immerhin noch zu beschränkt, um alles das zu umfassen, was diesem oder jenem Leser noch erwünscht sein, oder von ihm vermißt werden könnte.

Mit der Vermehrung des Inhalts schien auch eine etwas veränderte Anordnung des Stoffes geboten, um eine möglichst logische Reihenfolge zu erzielen und den Überblick zu erleichtern. Der Verfasser hat sich eifrigst bemüht, in dieser Beziehung allen Wünschen und Anforderungen gerecht zu werden und erkennt dabei es dankbar an, daß die Verlagshandlung in liberalster Weise für eine splendide Ausstattung Sorge getragen hat.

So möge denn diese zweite Auflage eine eben so wohlwollende und günstige Aufnahme finden, wie die erste, und dazu beitragen, immer weiteren Kreisen einen klaren Einblick in das wunderbar reichhaltige Gebiet der Elektrotechnik zu verschaffen.

Leipzig, Anfang Juli 1883.

Theodor Schwartze.

Inhaltsverzeichnis.

Einleitung.

Zweiter Abschnitt.

Die hauptsächlichsten Erscheinungen und Gesetze der Elektrizität.

Dritter Abschnitt.

Die elektrischen Meßapparate und Meßmethoden.

Vierter Abschnitt.

Von den Elektrizitätserzeugern.

Fünfter Abschnitt.

Von der elektrischen Beleuchtung.

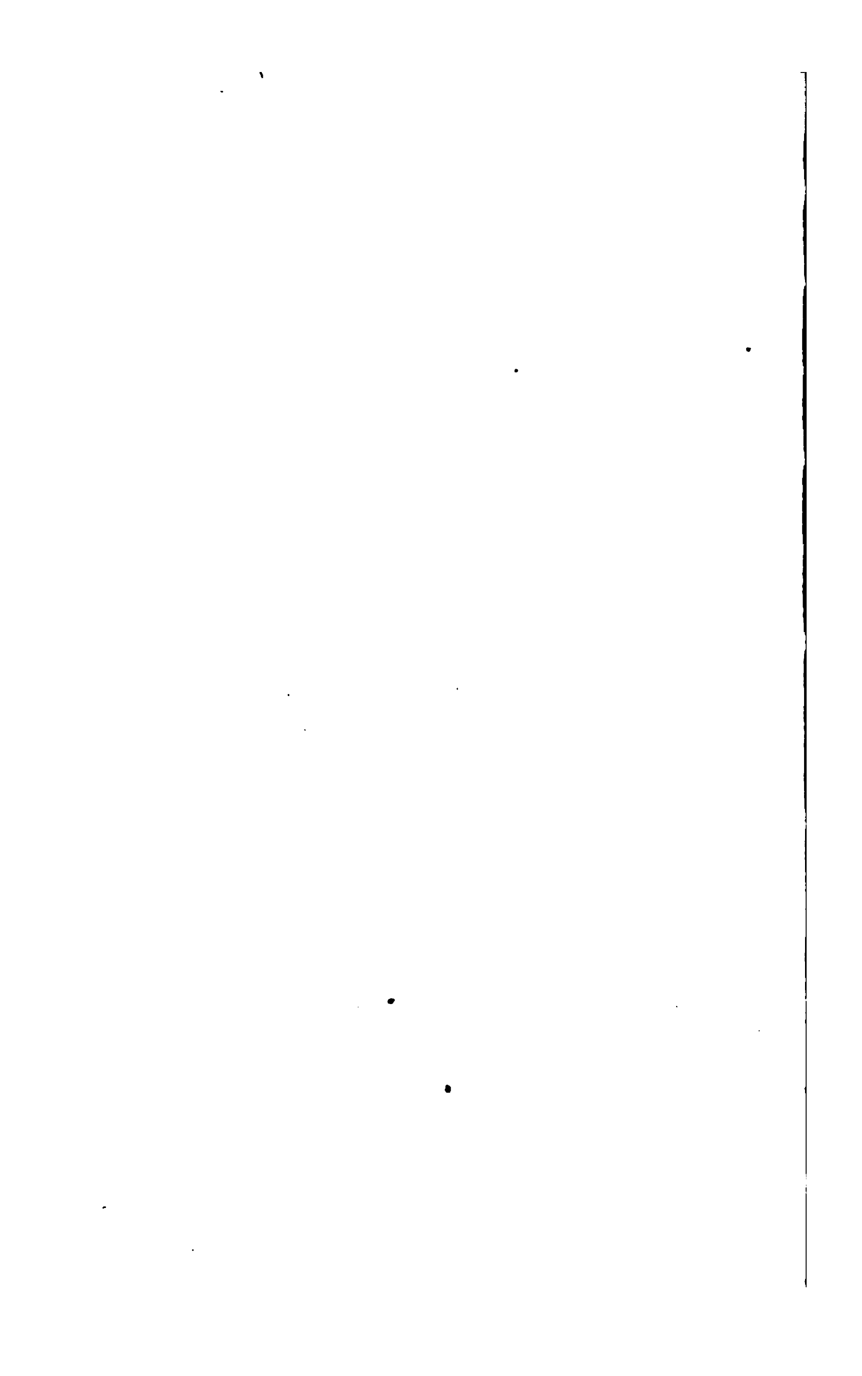
Sechster Abschnitt.

Die elektrische Krafttransmission.

Siebenter Abschnitt.

Die elektrische Telegraphie.

Katechismus der Elektrotechnik.



Einleitung.

Geschichtliche Entwicklung der Elektrizitätslehre.

---

1. Was ist Elektrizität?

Unter den Naturerscheinungen sind diejenigen, die wir als Elektrizität, oder als Wirkungen der Elektrizität bezeichnen, die geheimnisvollsten und man hat anzunehmen, daß deren Ursache in dem innersten Wesen der Materie verborgen liegt.

So viel bekannt, ist erregte schon vor mehr als zweitausend Jahren die elektrische Wirkung die Aufmerksamkeit sinnreicher Forscher, aber erst viel später begann man einzusehen, daß die Elektrizität eine der Materie naturnotwendig anhaftende Kraftleistungsfähigkeit (inhärierende Potenz) ist, welche je nach Umständen als Anziehung (Attraktion), oder als Abstoßung (Repulsion), oder auch als Magnetismus, Wärme und Licht zutagetreten kann. Nach der Ansicht bedeutender Physiker der Jetztzeit ist die Schwerkraft oder Gravitation eine Folge der elektrischen Beschaffenheit der materiellen Moleküle.

2. Wie hat sich die Elektrizitätslehre bis zu ihrem heutigen Standpunkte entwickelt?

Man kann in der Geschichte der Elektrizitätslehre eine Reihenfolge von Epochen annehmen, in denen man bezüglich der Erkenntnis der elektrischen Erscheinungen neue Standpunkte gewann und somit auch in der Forschung neue Bahnen verfolgen konnte.

Die erste Epoche beginnt mit Thales von Milet (geb. 640 v. Chr.), dem Stifter der altgriechischen physikalischen Schule. Durch die Beobachtung, daß geriebener Bernstein auf gewisse leichte Körperchen

eine anziehende Wirkung in die Ferne ausübe, wurde derselbe auf die Annahme einer besondern im Bernstein (griechisch Elektron) wirksamen Kraft geführt, die er wahrscheinlich für identisch mit der damals schon bekannten magnetischen Anziehung hielt. Theophrastus von Lesbos, ein Schüler des Aristoteles, setzte die von Thales begonnenen Beobachtungen über die durch Reibungselektrizität wirksam werdende attraktive Fernwirkung fort und wies dieselbe außer am Bernstein auch noch an einigen anderen Körpern nach. Bis in das 16. Jahrhundert kam man über diese Uranfänge in der Erkenntnis elektrischer Erscheinungen nicht hinaus.

Die zweite Epoche datiert von der Entdeckung des Unterschiedes zwischen elektrischer und magnetischer Anziehung und dem tieferen Eindringen in das Wesen der elektrischen Erscheinungen durch die Forschungen des englischen Physikers Gilbert gegen Ende des 16. Jahrhunderts. Gilbert wies auf die thatsächlichen Wahrnehmungen hin, wonach die elektrische Attraktion viel allgemeiner auftritt, als die magnetische, und durch den Einfluß feuchter Luft vernichtet werde, was bei der letztern Kraft nicht geschehe. Man stellte sich damals die Elektrizität als eine die Körper gleichmäßig durchdringende Kraft vor und hatte noch nicht deren repulsive und polare Wirkungsweise erkannt.

Die dritte Epoche beginnt mit der Erkenntnis der elektrischen Abstoßung (Repulsion); diese für das tiefere Verständnis des Wesens der Elektrizität höchst wichtige Entdeckung wird Otto von Guericke zugeschrieben, der davon in seinem ums Jahr 1672 erschienenen Buche „Nova experimenta Magdeburgica“ spricht. Derselbe konstruierte auch, wie man annimmt, die erste Elektrisiermaschine. Außerdem wurde von Guericke zuerst auch die räumliche Ausbreitung des elektrischen Zustandes entdeckt, worüber später von dem Engländer Stephen Gray weitere eingehende Beobachtungen angestellt wurden, und es hat derselbe überhaupt erst die Erscheinung der elektrischen Fortpflanzung zu klarer Erkenntnis gebracht, indem er gute und schlechte Leiter unterschied. Auch gelangte derselbe durch die Wahrnehmung, daß eine volle und eine hohle Metallkugel bei gleichem Durchmesser mittels derselben Elektrizitätsmenge gleich stark elektrisch werden, zu der Ansicht, daß die Elektrizität sich nur auf der Oberfläche der leitenden Körper verbreite, und endlich hat derselbe auch schon auf die Wahrscheinlichkeit der Wechselwirkung zwischen Elektrizität und Magnetismus hingewiesen.

Die vierte Epoche beginnt 1733 mit der vom französischen Physiker Dufay gemachten Entdeckung der Verschiedenheit des elektrischen Zustandes, welche Verschiedenheit sich durch Anziehung und Abstoßung äußert und wonach der Unterschied zwischen Glaselektrizität und Harzelektrizität zuerst von dem Genannten aufgestellt wurde. Trotzdem blieb die Erkenntnis der elektrischen Polarität demselben noch verschlossen.

Durch Benjamin Franklin, dessen weiteres Eindringen in das Wesen der elektrischen Erscheinungen sich hier als fünfte Epoche anschließt, wurde erkannt, daß zwei elektrisierte Körper einander anziehen, wenn ihr elektrischer Zustand ungleichartig, und einander abstoßen, wenn ihr elektrischer Zustand gleichartig ist, und außerdem unterschied er nicht bloß die Polarität oder das Zeichen (+ oder —) des elektrischen Zustandes, sondern auch dessen Größe, d. i. die Intensität der elektrischen Erregung. Er ist der Begründer der unitarischen Hypothese in der Elektrizitätslehre, während seine Zeitgenossen, die Franzosen Dufay und Coulomb, die dualistische Hypothese aufstellten. Der Unterschied zwischen beiden Hypothesen besteht nur im folgenden: Nach der unitarischen Hypothese Franklins wird nur die positive Elektrizität als beweglich betrachtet, während der wägbaren (ponderabeln) Masse der Körper neben der Gravitationskraft auch die sämtlichen Eigenschaften eines negativ elektrischen Körpers zugeteilt werden, indem man dessen Elemente fest mit der negativen Elektrizität verbunden denkt. Nach der Dufay-Coulombschen dualistischen Hypothese werden dagegen zwei, in den Körpern bewegliche elektrische Fluida (ein positives und ein negatives Fluidum) angenommen. Bei alledem kam man damals nicht über die Kenntnis der elektrischen Erregung durch Reibung hinaus.

Erst der sechsten Epoche war dies vorbehalten durch die bedeutsame Entdeckung Galvanis der elektrischen Erregung durch den Kontakt verschiedenartiger Metalle, hauptsächlich aber durch die daran sich knüpfenden bahnbrechenden Forschungen Voltas. In den Bezeichnungen Galvanismus und Voltaismus für eine gewisse Art elektrischer Erscheinungen sind die Namen dieser beiden Gelehrten verewigt worden. Voltas Erkenntnis der Kontaktelektrizität führte denselben weiter zur Entdeckung der elektrischen oder galvanischen Ströme.

Die siebente Epoche wurde durch den Dänen Oersted angebahnt, indem derselbe die Wechselwirkung zwischen Elektrizität und Magnetismus durch seine hochwichtige Entdeckung feststellte, daß der

durch einen Leitungsdraht fließende elektrische Strom eine Magnetnadel senkrecht zu der durch die Stromrichtung und den Mittelpunkt der Nadel gedachten Ebene zu stellen sucht. Keine Entdeckung im Gebiete der Physik fand wohl allgemeinere und regere Teilnahme, als die Oerstedsche, und die bedeutendsten Physiker der damaligen Zeit bemühten sich, in das durch den Oerstedschen Fundamentalversuch noch immer nicht völlig aufgeklärte Geheimnis des Zusammenhanges zwischen den elektrischen und magnetischen Kraftwirkungen noch weiter einzudringen. Zunächst gelang dies dem Franzosen Ampère, welcher die Oerstedschen Erfahrungen von einem allgemeineren Gesichtspunkte auffaßte und das gegenseitige Verhalten elektrischer Ströme zum Gegenstand seiner Untersuchungen machte. Er gelangte dadurch zu dem wichtigen Resultate, daß die Elektrizität (oder — nach der dualistischen Anschauungsweise — die Elektrizitäten) auch im Zustande der Bewegung, d. h. im Zustande von elektrischen Strömen nach einem gewissen Gesetze anziehend (attraktiv) und abstoßend (repulsiv) auf einander einwirken, wie dies von der statischen oder im Spannungszustande befindlichen Elektrizität geschieht. Auf diese Thatsache hin begründete Ampère eine Theorie, nach welcher die Erscheinungen des Magnetismus auf elektrische Ströme zurückgeführt werden, oder wodurch sich wenigstens die Wechselwirkungen zwischen Elektrizität und Magnetismus auf einfache Weise erklären lassen. So häuften sich nach und nach eine Menge interessanter Thatsachen an, zwischen denen aber das verknüpfende Band noch fehlte.

Erst in der achten Epoche wurde die Höhe des Standpunktes gewonnen, von welchem aus ein Überblick und ein einheitliches Zusammenfassen der verschiedenartigen Erscheinungen möglich wurde. Das Verdienst, diesen Standpunkt erstrebt zu haben, gebührt dem Engländer Faraday, der, auf einer philosophischen Anschauung des Universums nach dem Vorgange Newtons, Boscovichs, Kants und Mossottis fußend, die Erscheinungen in ihrer Allgemeinheit auffaßte und nach der von den Erkenntnisgrenzen seiner Zeit gegebenen Möglichkeit zu einem Ganzen vereinigte. Er wies nach, daß der Sitz der Elektrizität nicht bloß an der Oberfläche der elektrischen Körper, sondern im ganzen umgebenden Medium zu
Oberfl sei; er verwarf den Unterschied zwischen Spannungs- und
auch sch elektrizität oder — mit anderen Worten — zwischen
Elektrizität und dynamischer Elektrizität, und hob den innigen Zu-
g zwischen elektrischen und chemischen Kraftwirkungen

hervor; er faßte die Gegenseitigkeit von Elektrizität und Magnetismus im vollsten Umfange und mit größter Klarheit auf; er sprach es aus, daß die Existenz einer isolierten, für sich bestehenden Gravitationskraft, welche keine Beziehung zu den anderen Naturkräften und zu dem Prinzip von der Erhaltung der Kraft (Erhaltung der Energie) besitzen sollte, vernunftwidrig sei. Hierin war ihm allerdings schon der Italiener Mossotti vorausgegangen, welcher in seiner Schrift: „Sur les forces qui régissent la constitution intérieure des corps"*) den Ausspruch getan hat: „Die allgemeine Gravitation selbst kann als eine Folgerung aus denjenigen Prinzipien hergeleitet werden, welche die Gesetze der elektrischen Kräfte beherrschen".

Unter den heutigen Förderern der Elektrizitätslehre sind insbesondere zu nennen die deutschen Gelehrten Wilhelm Weber, Friedrich Zöllner, Hermann Helmholtz und der Engländer Sir William Thomson. Vor allen aber ist wohl dem Nestor Wilhelm Weber das Verdienst zuzuerkennen, eine neue Epoche im Fortschritte unserer Erkenntnis der elektrischen Erscheinungen angebahnt zu haben.

Die großen Verdienste Wilhelm Webers um die Förderung der elektrischen und magnetischen Erscheinungen haben die Physiker allerorten anerkannt, wie dies aus der Glückwunschadresse zur fünfzigjährigen Jubelfeier seiner Professur an der Universität zu Göttingen durch den Internationalen Kongreß der Elektriker zu Paris am 1. Oktober 1881 hervorgeht. Epochemachend in der Geschichte der Elektrizitätslehre ist unzweifelhaft die von Weber bereits vor dreißig Jahren aufgestellte absolute Maßbestimmung der Kräfte, worauf er die Bestimmung der freien Elektrizität eines Körpers nach absolutem Maße, d. h. nach dem Maße der in der Mechanik betrachteten Größenarten: das sind Linien, Zeiträume und Massen, begründete. Ferner gelang es Weber mit sinnreicher Überwindung der größten mit der Sache verknüpften Schwierigkeit, die elektrischen und magnetischen Kräfte durch die Zahl der Schwingungen eines ihrem Einflusse unterworfenen Körpers zu messen, wozu ihm das von ihm erfundene Bifilardynamometer (eine an zwei parallelen, einander nahe befindlichen Fäden aufgehängte Drahtrolle mit Spiegelablesung) diente. Endlich stellte Weber im Anschlusse an das Newtonsche Gravitationsgesetz ein universelles Gesetz auf, wonach, ähnlich wie

---

*) Vergl. Professor Fr. Zöllners Schrift: „Erklärung der universellen Gravitation". Leipzig 1882.

Newton durch sein Gesetz die genaueste Berechnung der Bahnen der Himmelskörper ermöglichte, die Mechanik der Moleküle auf ein einziges Prinzip begründet wird und wonach also, analog den auf die Undulationstheorie des Äthers begründeten Berechnungen der optischen Erscheinungen, auch die Berechnung der magnetischen und elektrischen Erscheinungen ermöglicht werden könnte. Zurzeit ist der große Gelehrte noch mit dem Ausbau seiner Theorie beschäftigt.

Schließlich ist hier noch anzuführen, daß ganz neuerdings von dem berühmten Astrophysiker Prof. Friedrich Zöllner ein Grundsatz aufgestellt worden ist, wonach in ungezwungener und sehr einfacher Weise die bereits durch die formale Übereinstimmung ihrer Gesetze eng verbundenen Fernwirkungen der Elektrizität und Gravitation auch in den engsten physikalischen Zusammenhang gebracht werden.

3. Welche Anwendungen sind in der Technik von den elektrischen, beziehentlich magnetelektrischen und elektromagnetischen Kraftwirkungen gemacht worden?

Als erstes Beispiel der praktischen Anwendung der Elektrizitätslehre ist die Erfindung des Blitzableiters durch Benjamin Franklin (1753) aufzuführen. Zu zweitnächst ist die Erfindung der galvanischen Säule durch Volta (1800) zu nennen, womit zuerst ein Mittel zur Verstärkung der Wirkung der Kontaktelektrizität gegeben war. Hierauf folgte Aragos Entdeckung der magnetisierenden Wirkung des galvanischen Stromes (1824), woran sich die Konstruktion der ersten Elektromagneten durch den Engländer Sturgeon schloß, und danach kam Faradays Beobachtung der elektrischen Erregung durch magnetische Kraftwirkung (1831), womit der Technik durch die Darbietung des Elektromagnetismus und der Magnetelektrizität ein weites Feld zur Konstruktion der verschiedenartigsten elektrischen Apparate eröffnet war.

Auf die Ablenkung der Magnetnadel durch den wechselnden elektrischen (galvanischen) Strom, d. i. auf den Elektromagnetismus basierte die Erfindung des ersten brauchbaren elektrischen Telegraphen von Gauß und Weber in Göttingen (1833), worauf (1837) Steinheil in München einen andern elektrischen Telegraphen herstellte, welcher auf das Prinzip der momentanen Magnetisierung eines Eisenkörpers durch einen periodisch unterbrochenen elektrischen Strom, d. i. ebenfalls auf den Elektromagnetismus, begründet war. Auf der Benutzung desselben Prinzips beruhten auch die elektrischen Uhren, welche 1839 von Stein-

heil in München, 1840 von Wheatstone in London und 1849, zum ersten male in größerem Umfange, von Stöhrer in Leipzig zu dem Zwecke konstruiert wurden, von einer Normaluhr aus in einem größern Umkreise eine beliebige Anzahl Uhren mittels des elektrischen Stromes ganz gleichmäßig zu betreiben. Die elektrische Telegraphie, unbestreitbar eine deutsche Erfindung, erhielt in Amerika ihre Vervollkommnung durch Morses Schreibtelegraphen, der 1843 die erste Anwendung im großen fand. Die Engländer Cooke, Wheatstone, Mapple und Barlow, die Franzosen Bréguet, Froment und Reynard, die Deutschen Leonhard, Drescher, Stöhrer und Siemens beschäftigten sich in der Zeit von 1836 bis 1860 mit der Verbesserung des elektrischen Zeigertelegraphen; ferner wurden elektrische Drucktelegraphen erfunden, welche die Telegramme direkt mittels Farbe mit gewöhnlichen Buchstaben auf Papier druckten, so daß die Schrift für jedermann lesbar war, während die Morsesche, aus Strichen und Punkten bestehende Zeichenschrift nur dem Eingeweihten verständlich ist.

Eine Zeitlang lebte man der Hoffnung, den Elektromagnetismus mit Erfolg als Triebkraft benutzen zu können, und in der That gelang es Jacobi (1839) in Petersburg auf der Newa ein Boot zu treiben, später setzte Stöhrer in Leipzig Drehbänke und andere leichtbetreibbare Maschinen auf dieselbe Weise in Bewegung, und Wagner in Frankfurt a. M. bemühte sich ernstlich die Eisenbahnlokomotive anstatt mit Dampf durch Elektrizität zu betreiben, allein bald stellte sich das Unpraktische dieser Bestrebungen heraus.

An die Stelle der durch galvanische Batterien betriebenen Elektromotoren traten die magnetelektrischen Maschinen als Elektrizitätsgeneratoren und damit hatte die Magnetelektrizität ihre praktische Bedeutung erlangt, indem durch die bezüglichen Apparate die kostspieligen und umständlichen galvanischen Batterien als Stromerzeuger verdrängt wurden. Anstatt durch chemische Wirkung wurde nunmehr mit Hülfe der magnetelektrischen Maschinen der elektrische Strom durch mechanische Arbeit, d. i. durch die auf eine Kurbel übertragene Dreharbeit, sei es mittels Hand oder mittels Elementarkraft, hervorgerufen. Hiermit war das bedeutungsvolle Mayersche Grundprinzip von der Äquivalenz der in Kausalverknüpfung stehenden Kraftwirkungen wiederum in helles Licht gestellt.

Die erste magnetelektrische Maschine wurde 1832 von Pixii in Paris konstruiert; mit deren Verbesserung beschäftigten sich eine große Anzahl bedeutender Elektriker. Dem Italiener Pacinotti gelang es (1860) zuerst eine solche Maschine herzustellen, welche einen kontinuierlichen Strom in gleicher Richtung erzeugte, während die früheren magnetelektrischen Maschinen Wechselströme produzierten, welche erst mittels einer besondern Vorrichtung in gleiche Richtung gebracht werden mußten, wenn man einen gleichgerichteten Strom benutzen wollte, was allerdings für manche Zwecke, wenn nicht absolut nötig, doch mindestens erwünscht sein konnte.

Mit der Herstellung der magnetelektrischen Maschine war der Einführung der elektrischen Beleuchtung die Bahn gebrochen, denn obschon Humphry Davy bereits 1822 die Erzeugung des elektrischen Lichtes entdeckt hatte, so fand dessen praktische Verwendung doch noch an der Notwendigkeit ein Hemmnis, dazu teuere und umständliche galvanische Batterien benutzen zu müssen.

Größere und daher auch zur Erzeugung kräftiger Ströme brauchbare magnetelektrische Maschinen führte zuerst Stöhrer in Leipzig in den Jahren 1846—1850 aus. Noch stärkere Maschinen konstruierte nach dem Genannten der Engländer Holmes und die französische Gesellschaft l'Alliance zum Zwecke der elektrischen Lichterzeugung auf Leuchttürmen. Ein wesentlicher Fortschritt in der Konstruktion dieser Maschinen wurde 1857 von Dr. W. Siemens in Berlin gemacht, indem es demselben gelang, die magnetelektrische Wirkung viel besser auszunutzen, als dies bisher geschah.

Durch die Kombination einer kleinen magnetelektrischen Maschine mit einer großen elektromagnetischen Maschine wurde abermals ein bedeutender Fortschritt in der Herstellung der Elektrogeneratoren gewonnen, mit welchem der Engländer Wilde 1866 vor die Öffentlichkeit trat. Das Prinzip dieser Maschine liegt darin, daß es möglich ist, mittels eines verhältnismäßig schwachen elektrischen Stromes sehr starke Elektromagneten zu erzeugen und diese wiederum zur Stromerweckung zu benutzen.

Endlich trat im Jahre 1867 Dr. Werner Siemens in Berlin mit seiner dynamoelektrischen Maschine hervor, mit welcher ein neu entdecktes Prinzip zur wirksamsten Geltung gebracht und eine vollständige Umwälzung in der Konstruktion der Elektrogeneratoren herbeigeführt wurde. Mittels dieser Maschine gelang es, die permanenten Magneten zur Stromerzeugung ganz unnötig zu machen, indem der genannte Erfinder zu der Erkenntnis gekommen war,

daß auch der kleinste Keim der magnetischen Kraft, welcher selbst in dem für gewöhnlich als ganz unmagnetisch geltenden weichen Eisen schlummert, genügend ist, um in der Wechselwirkung von Magnetelektrizität und Elektromagnetismus mittels einer gewissen Drehkraft eine dieser Drehkraft und der Konstruktion der Maschine entsprechende Maximalleistung in elektrischer Energie zu erhalten.

Mit der Erfindung der dynamoelektrischen Maschine war die Herstellung kräftiger Elektrogeneratoren außerordentlich vereinfacht worden und damit der technischen Verwendung der Elektrizität die breiteste Bahn gebrochen.

Unzweifelhaft hat Dr. Werner Siemens um die Förderung der Elektrotechnik die größten Verdienste. Von ihm wurden die ersten für die Praxis anwendbaren Methoden zur Messung der Stromstärken und der Widerstände in den Leitungen in Vorschlag gebracht. Er erfand sehr zweckmäßige Methoden zur Untersuchung der transatlantischen Kabel auf ihre Leitungsfähigkeit und stellte die große Isolierungsfähigkeit des Guttapercha fest. Er konstruierte zuerst ein Universalgalvanometer, welches sowohl zur Messung unbekannter Widerstände, als auch zur Vergleichung der elektromotorischen Kraftwirkungen ausgezeichnete Dienste leistete. Er war es, der zuerst den Elektrotechnikern einen bequemen und genauen Elektrizitätsmaßstab zur Kontrolle bei ihren Arbeiten in die Hand gab, kurz: Dr. Werner Siemens, in Verbindung mit seinem Bruder, Dr. William Siemens in London, bemühte sich nach allen Seiten hin, die Elektrizität für die verschiedensten Zwecke des Lebens nutzbar zu machen. Ganz besonders noch sind seine Verdienste um die Vervollkommnung der telegraphischen Apparate, der elektrischen Beleuchtung, der elektrischen Krafttransmission und um die Elektrometallurgie, sowie seine Erfindung der elektrischen Eisenbahn hervorzuheben.

Erster Abschnitt.

Die Potentialtheorie und die elektrischen Maßsysteme.

Erstes Kapitel.

Das Potential und die Kraftlinien.

4. Was versteht man unter Potential und wie wird dasselbe bestimmt?

Unter Potential versteht man diejenige Größe, welche für einen Beobachter den elektrischen Zustand eines körperlichen Punktes oder eines gleichmäßig elektrischen Körpers bestimmt. Ähnlich wie die Temperatur Aufschluß über den Wärmezustand eines Körpers giebt, wird durch das Potential Aufschluß über den elektrischen Zustand eines Körpers gegeben; es ist jedoch noch nicht möglich gewesen, das Potential durch absolute Zahlen auszudrücken, wie dies bei der Temperatur geschieht, weshalb man dasselbe stets in Beziehung zum Potential eines andern Körpers bringen muß. Als einen solchen Körper benutzt man die Erde. Verfolgt man die Analogie zwischen Wärme und Potential noch weiter, so kommt man auf folgendes: Die Größe des Wärmezustandes oder die Wärmemenge eines gleichmäßig temperierten Körpers wird durch den Ausdruck CT bestimmt, wobei C eine gewisse von der Natur des Körpers abhängige Konstante und T die Temperatur des Körpers bedeutet. Analog kann man die Größe des elektrischen Zustandes in einem Punkte durch das Produkt KV bestimmen, worin K ebenfalls eine gewisse bloß von der Natur des Mediums, worin sich der Punkt befindet, ...hängige Konstante und V das Potential des Punktes ist.

Zu einer andern Auffassung des Potentials gelangt man, wenn man dasselbe in Analogie mit der Schwerkraft betrachtet. In dieser Beziehung bezeichnet Professor William Thomson als Potential eines gewissen in einer elektrischen oder magnetischen Kraftsphäre (oder, wie man gewöhnlich sagt, in einem Kraftfelde, schlechtweg Felde) befindlichen Punktes die Arbeit, welche erforderlich ist, um die elektrische Krafteinheit aus unendlicher Entfernung bis in jenen Punkt zu transportieren oder aus jenem Punkte bis in die unendliche Entfernung zu bringen. Je nach der Bewegungsrichtung oder je nach der Polarität der elektrischen Erscheinungen setzt man vor die Größe V des Potentials das Zeichen (+) oder (—) und schreibt also + V für das positive und — V für das negative Potential.

5. Nach welchen Gesetzen erfolgt die Ausbreitung des Potentials im Raume?

Um elektrisierte oder magnetisierte Körper breitet sich die entsprechende Wirkung in dem sogenannten Felde (Kraftfelde) derartig aus, daß sie mit der Entfernung vom erregten Körper abnimmt und theoretisch in unendlicher Entfernung null wird. Man kann also um einen elektrisch oder magnetisch erregten Körper herum Flächen vorfinden, in denen alle Punkte dieselbe Kraftwirkung auf einen durch das Kraftfeld hindurchgeführten, frei beweglichen Punkt ausüben; solche Flächen werden Niveauflächen genannt und es ist in einer und derselben Niveaufläche des Kraftfeldes an jeder Stelle dasselbe Potential vorhanden. Hiervon kann man sich mit Bezug auf einen elektrisierten Körper dadurch überzeugen, daß man ein an einem Seidenfaden hängendes leitendes Kügelchen (etwa von Hollundermark), welches ganz schwach elektrisiert ist, durch das Kraftfeld hindurchführt. Die Ablenkung dieses Kügelchens von der Lotlinie giebt alsdann Auskunft über die Stärke des elektrischen Potentiales in jedem Punkte des Feldes. Zur Untersuchung eines mechanischen Feldes ist eine kleine Magnetnadel zu benutzen.

6. In welcher Beziehung stehen die Niveauflächen zu den Kraftlinien?

Wie oben bemerkt wurde haben zwei verschiedene Niveauflächen eines elektrischen oder magnetischen Kraftfeldes (der Kraftsphäre eines elektrisierten oder magnetisierten Punktes) verschiedene Potentiale; demzufolge besteht zwischen diesen Niveauflächen eine Potentialdifferenz und somit eine gegenseitige Wirkung. Verbindet man nach einander diejenigen Punkte der auf einander folgenden Niveau=

flächen, welche auf einander die größte Wirkung ausüben, so erhält man je nach Umständen eine gerade oder krumme Linie, welche zu jeder Niveaufläche normale Richtung hat. Eine derartige Linie wird eine **Kraftlinie** genannt; dieselbe ist elektrischer oder magnetischer Natur, jenachdem es sich um einen elektrisierten oder um einen magnetisierten Körper handelt.

7. Wie ist die elektrische und magnetische Anziehung oder Abstoßung durch die Kraftlinien zu erklären?

Sind zwei kugelförmige Körper A und B (Fig. 1) in ihren elektrischen oder magnetischen Potentialen verschieden, so erstrecken

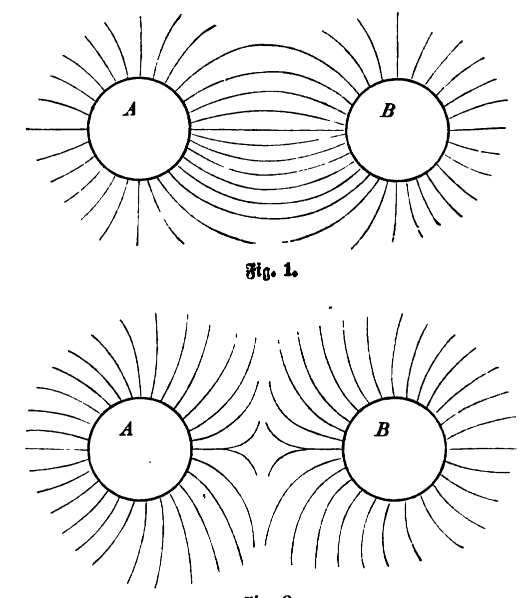


Fig. 1.

Fig. 2.

sich die Kraftlinien von einem Körper zum andern und die beiden Körper werden durch dieselben verbunden, wodurch die Annäherung derselben oder scheinbar die Anziehung herbeigeführt wird. Am dichtesten treten diese gegenseitigen Kraftlinien an den einander

zunächstliegenden Punkten der beiden Körper auf. Sind die Körper dehnbar, so werden sie sich an den gegenüberliegenden Seiten gegen einander ausdehnen, wie man dies z. B. an elektrisierten Seifenblasen oder an Gewitterwolken beobachten kann.

Haben dagegen zwei kugelförmige Körper A und B (Fig. 2) ein und dasselbe Potential, während das Potential des dieselben umgebenden Mediums ein verschiedenes ist, so weichen die Kraftlinien einander aus; infolgedessen werden die Körper, sobald sie frei beweglich sind, sich von einander entfernen oder scheinbar sich gegenseitig abstoßen. Bestehen die Körper aus einer dehnbaren Substanz, so werden sie sich an den gegenüberliegenden Stellen einbauchen.

Hat endlich das die Körper umgebende Medium ebenfalls dasselbe Potential wie die Körper selbst, so sind überhaupt keine Kraftlinien vorhanden und die Körper verhalten sich zu einander neutral.

Zweites Kapitel.

Elektromotorische Kraft, Widerstand, Stromstärke und Kapazität.

8. Was versteht man unter elektromotorischer Kraft?

Die Ursache einer Potentialdifferenz wird als elektromotorische Kraft E bezeichnet und es hat demnach die elektromotorische Kraft das Bestreben, zwischen zwei Punkten eines Kraftfeldes stets die Potentialdifferenz auf derselben Höhe zu erhalten. Die Erzeugung der elektromotorischen Kraft erfolgt hierbei in der Elektrotechnik durch einen Elektromotor oder Elektrizitätserzeuger, und zwar kann dieses, wie wir später sehen werden, in sehr verschiedener Weise geschehen. Elektromotorische Kraft und Potentialdifferenz sind daher zwei gleichartige Größen, wobei aber stets die elektromotorische Kraft als aktiv auftritt, während eine Potentialdifferenz auch im passiven Zustande zweier Körper zwischen diesen bestehen kann. Die elektromotorische Kraft bedingt also stets ein Gegeneinanderwirken der beiden verschiedenen Polaritäten, wobei die elektromotorische Kraft es zu keiner Neutralisation kommen läßt. Denkt man sich die elektromotorische Kraft von einem Elektromotor oder Elektrizitätserzeuger (Generator) ausgehend, so ist die zwischen den beiden entgegengesetzt polaren Ausgangspunkten bestehende Potentialdifferenz gleich der effektiven elektromotorischen Kraft des Elektromotors.

9. Was versteht man unter elektrischem Widerstand?

Ebenso wie jede Substanz ein spezifisches Leitungsvermögen für die Wärme hat, kommt derselben auch ein spezifisches Leitungsvermögen für Elektrizität zu und hierdurch wird der elektrische Widerstand W bedingt. Übrigens ist aber der elektrische Widerstand nicht bloß von der Substanz der Körper, sondern auch von deren molekularer Beschaffenheit und Form (Querschnitt) sowie von der Temperatur abhängig.

10. Was versteht man unter elektrischem Strom?

Der elektrische Strom ist ein Produkt der elektromotorischen Kraft, dabei ist derselbe aber auch von dem Widerstande der Körper abhängig, durch welche er hindurchgeht. Der elektrische Strom ist also eine fortdauernde Entladung der elektromotorischen Kraft, wobei die Potentialdifferenz, mit welcher die Entladung erfolgt, von dem Widerstande abhängig ist, welchen der elektrische Strom zu überwinden hat.

Ist die elektromotorische Kraft und der Widerstand konstant, so ist auch der elektrische Strom konstant und man versteht in diesem Falle unter Stromstärke J (Intensität des Stromes) die Elektrizitätsmenge, welche in der Zeiteinheit durch einen Querschnitt des die Pole des Elektromotors verbindenden, von einem mehr oder minder starken Draht gebildeten Stromkreis hindurch geht. Es ist hierbei gleichgültig für die Größe der Stromstärke, ob der Stromkreis durchaus den gleichen oder verschiedene, wechselnde Querschnitte hat, indem die elektrische Strömung sich genau ebenso verhält wie eine durch eine Leitung fließende Flüssigkeit, welche bei Verengung des Querschnitts der Leitung sich schneller, bei Erweiterung der Leitung dagegen langsamer bewegt, und zwar nimmt die Geschwindigkeit hierbei stets in solchem Maße ab oder zu, daß in der Zeiteinheit durch jeden Querschnitt dieselbe Flüssigkeitsmenge hindurchgeht. Gerade so verhält es sich mit dem elektrischen Strome.

11. Wie verhält es sich mit der elektrischen Kapazität?

Die elektrische Kapazität ist in Analogie mit der spezifischen Wärme der Körper zu stellen und man versteht darunter die von einem Körper unter gewissen Bedingungen aufzunehmende Elektrizitätsmenge. Die elektrische Kapazität eines Körpers ist gleich dem Quotienten aus Ladung durch Spannung (elektromotorische Kraft).

Drittes Kapitel.

Das absolute Maßsystem.

12. Was versteht man unter dem Ausdrucke „absolutes Maßsystem?“

Das absolute Maßsystem*) beruht auf der Ableitung der sogenannten absoluten Maße aus den in der Mechanik gebräuchlichen Grundmaßen: Raum, Masse und Zeit. Als fundamentale Einheiten wurden zuerst von Gauß und Weber mit Bezug auf die Messung elektrischer und magnetischer Größen die Maßeinheiten: Millimeter, Milligramm und Sekunde aufgestellt. Diese für wissenschaftliche Untersuchungen sehr geeigneten Einheiten erwiesen sich jedoch für die praktischen Zwecke der Elektrotechnik als zu klein. Um diesem Übelstande abzuhelfen, stellte die British Association ein auf Centimeter, Gramm und Sekunde basiertes absolutes Maßsystem auf, welche Einheiten auch später von dem 1881 in Paris zusammenberufenen Kongreß der Elektriker acceptiert wurden, wobei man jedoch das System noch weiter vervollständigte und durch passend gewählte Bezeichnungen der verschiedenen Maßeinheiten die möglichste Bequemlichkeit und Sicherheit in der praktischen Anwendung dieses Maßsystems herzustellen suchte.

Das vom Kongreß aufgestellte Maßsystem ist wie folgt:

1. Für die elektrischen Maße sind die Fundamentaleinheiten: Centimeter, Gramm und Sekunde adoptiert.

2. Die praktischen Einheiten sind: für den Widerstand das Ohm $= 10^9$ und für die elektromotorische Kraft das Volt $= 10^8$.

3. Die Widerstandseinheit (das Ohm) wird dargestellt durch eine Quecksilbersäule von 1 qmm Querschnitt bei der Temperatur 0° C. (Die Länge dieser Quecksilbersäule ist der besondern Schwierigkeiten wegen, welche sich hier den genauen Bestimmungen in den Weg stellen, vorläufig noch unbestimmt gelassen. Der mittlere Wert aus den von den bedeutendsten Physikern an verschiedenen Orten angestellten Messungen ergiebt für 1 qmm Querschnitt der Quecksilbersäule die Länge zu 1,0574 m, während die gegenwärtig benutzte Siemenssche Widerstandseinheit durch eine Quecksilbersäule von 1 qmm Querschnitt und 1 m Länge bei 0° C. gemessen wird.

---

*) *Everett*, Physical Unities and Constantes. *Maurice Lévy*, Sur les unités électriques. F. Uppenborn, „Das internationale elektrische Maßsystem“.

9. Was versteht man unter elektrischem Widerstand?

Ebenso wie jede Substanz ein spezifisches Leitungsverm
die Wärme hat, kommt derselben auch ein spezifisches
vermögen für Elektrizität zu und hierdurch wird der
Widerstand W bedingt. Übrigens ist aber der elektrische Wi
nicht bloß von der Substanz der Körper, sondern auch
molekularer Beschaffenheit und Form (Querschnitt) sowie
Temperatur abhängig.

10. Was versteht man unter elektrischem Strom?

Der elektrische Strom ist ein Produkt der elektro
Kraft, dabei ist derselbe aber auch von dem Widerstande
abhängig, durch welche er hindurchgeht. Der elektrische
also eine fortdauernde Entladung der elektromotorisch
wobei die Potentialdifferenz, mit welcher die Entladung
von dem Widerstande abhängig ist, welchen der elektrische
überwinden hat.

Ist die elektromotorische Kraft und der Widerstand kon
ist auch der elektrische Strom konstant und man versteht
Falle unter Stromstärke J (Intensität des Stromes)
trizitätsmenge, welche in der Zeiteinheit durch einen
des die Pole des Elektromotors verbindenden, von einem
minder starken Draht gebildeten Stromkreis hindurch
ist hierbei gleichgültig für die Größe der Stromstärke, ob der
kreis durchaus den gleichen oder verschiedene, wechselnde Qu
hat, indem die elektrische Strömung sich genau ebenso ver
eine durch eine Leitung fließende Flüssigkeit, welche bei V
des Querschnitts der Leitung sich schneller, bei Erweiter
Leitung dagegen langsamer bewegt, und zwar nimmt die Gesch
keit hierbei stets in solchem Maße ab oder zu, daß in
einheit durch jeden Querschnitt dieselbe Flüssigkeitsmenge hind
Gerade so verhält es sich mit dem elektrischen Strome.

11. Wie verhält es sich mit der elektrischen Kapazität?

Die elektrische Kapazität ist in Analogie mit der spe
Wärme der Körper zu stellen und man versteht darunter
einem Körper unter gewissen Bedingungen aufzunehmende
zitätsmenge. Die elektrische Kapazität eines Körpers ist gle
Quotienten aus Ladung durch Spannung (elektromotorische

daß auch der kleinste Keim der magnetischen Kraft, welcher selbst in dem für gewöhnlich als ganz unmagnetisch geltenden weichen Eisen schlummert, genügend ist, um in der Wechselwirkung von Magnetelektrizität und Elektromagnetismus mittels einer gewissen Drehkraft eine dieser Drehkraft und der Konstruktion der Maschine entsprechende Maximalleistung in elektrischer Energie zu erhalten.

Mit der Erfindung der dynamoelektrischen Maschine war die Herstellung kräftiger Elektrogeneratoren außerordentlich vereinfacht worden und damit der technischen Verwendung der Elektrizität die breiteste Bahn gebrochen.

Unzweifelhaft hat Dr. Werner Siemens um die Förderung der Elektrotechnik die größten Verdienste. Von ihm wurden die ersten für die Praxis anwendbaren Methoden zur Messung der Stromstärken und der Widerstände in den Leitungen in Vorschlag gebracht. Er erfand sehr zweckmäßige Methoden zur Untersuchung der transatlantischen Kabel auf ihre Leitungsfähigkeit und stellte die große Isolierungsfähigkeit des Guttapercha fest. Er konstruierte zuerst ein Universalgalvanometer, welches sowohl zur Messung unbekannter Widerstände, als auch zur Vergleichung der elektromotorischen Kraftwirkungen ausgezeichnete Dienste leistete. Er war es, der zuerst den Elektrotechnikern einen bequemen und genauen Elektrizitätsmaßstab zur Kontrolle bei ihren Arbeiten in die Hand gab, kurz: Dr. Werner Siemens, in Verbindung mit seinem Bruder, Dr. William Siemens in London, bemühte sich nach allen Seiten hin, die Elektrizität für die verschiedensten Zwecke des Lebens nutzbar zu machen. Ganz besonders noch sind seine Verdienste um die Vervollkommnung der telegraphischen Apparate, der elektrischen Beleuchtung, der elektrischen Krafttransmission und um die Elektrometallurgie, sowie seine Erfindung der elektrischen Eisenbahn hervorzuheben.

Es ist daher die Masse $M = \frac{G}{9.81}$ Massenkilogramm.

Beispielsweise ist also eine Kraft von 1 gr, d. i. eine Kraft, welche der Masse von 1 gr Gewicht eine Beschleunigung von 9.81 m = 981 cm erteilt, gleich 981 Dyns und somit eine Kraft von 1 kg gleich 1000 . 981 = 981 000 Dyns. Hieraus folgt, daß die Arbeit, durch welche 1 kg auf die Höhe von 1 m = 100 cm gehoben wird, gleich 981 000 . 100 = 98 100 000 Ergs ist.

Um nicht zu große Zahlen zu erhalten, berechnet man in der Praxis die in Kongreßeinheiten, d. i. in Centimeter C, Massengrammen G und Sekunden S (oder kurz in CGS-Einheiten) ausgedrückten Kraft-, Arbeits- und Effektgrößen in Kilogrammen und Meterkilogrammen oder letztere auch in Pferdestärken (zu 75 Meterkilogrammen).

Drückt man die Symbole für die absoluten Maßgrößen, welche in den Formeln 1 bis 5 in den in der Wissenschaft üblichen allgemeinen Zeichen L (für Länge, Geschwindigkeit, Weg), M (für Masse) und T (für Zeit) angegeben sind, in CGS-Einheiten aus, so erhält man als absolute Größen:

Einheit der Geschwindigkeit $= LT^{-1} = CS^{-1}$
Einheit der Beschleunigung $= LT^{-1} = CS^{-2}$
Einheit der Kraft $= LMT^{-2} = CGS^{-2}$
Einheit der Arbeit $= L^2MT^{-2} = C^2GS^{-2}$
Einheit des Effektes $= L^2MT^{-3} = C^2GS^{-3}$.

14. In welcher Weise erfolgt die Bestimmung der elektrischen resp. magnetischen Größen nach dem absolutem Maßsystem?

Man benutzt dazu die elektrischen resp. magnetischen Wirkungen und jenachdem diese Wirkungen als statische oder als dynamische zu betrachten sind, unterscheidet man das elektrostatische Maßsystem und das elektrodynamische oder elektromagnetische Maßsystem, weil bei den Maßbestimmungen des letzteren Systems die magnetischen Wirkungen mit ins Spiel kommen.

15. Wie erfolgen die Bestimmungen der absoluten elektrischen Größen in CGS-Einheiten nach dem elektrostatischen Maßsystem?

Die hauptsächlichste elektrostatische Größe ist die Quantität oder Menge, welche hier wegen der eigentümlichen Natur der elektrischen und magnetischen Erscheinungen anstatt der im absoluten System

benutzten Masse G eingeführt ist. Die Bestimmung dieser Quantität erfolgt nach dem Coulombschen Gesetz

$$F = \frac{q\,q'}{r^2}.$$

In dieser Formel ist F die Anziehungs- oder Abstoßungskraft, welche zwei in der Entfernung r frei bewegliche materielle Punkte auf einander ausüben, in denen die elektrischen resp. magnetischen Quantitäten q und q′ angehäuft sind. Setzt man F = 1, q = q′ = Q = 1 und r = C, so erhält man:

$$F = \frac{q^2}{C^2},$$

woraus folgt:

$$Q = \sqrt{F\,C^2}.$$

Setzt man nun für die Krafteinheit F den unter Frage 13 angegebenen Wert $C\,G\,S^{-2}$ ein, so erhält man:

$$Q = \sqrt{C^2 G\,C} = C^{\frac{3}{2}}\,G^{\frac{1}{2}}\,S^{-1}.$$

Zur Bestimmung der Einheit der elektrischen Stromstärke J (vergl. S. 16) benutzt man die von Faraday festgestellte Beziehung zwischen J, Q und T. Diese Beziehung besteht darin, daß die Stromstärke oder die Intensität eines elektrischen Stromes der elektrischen Quantität proportional, welche in der Zeiteinheit durch einen Querschnitt des Stromkreises hindurchgeht. Der Ausdruck hierfür ist:

$$J = \alpha\,\frac{Q}{T},$$

worin α ein von den Einheiten des Stromes und der Quantität abhängiger Koeffizient ist, welcher im vorliegenden Falle gleich Eins zu setzen ist. Setzt man ferner für Q und T die Kongreßeinheiten ein, so erhält man:

$$J = C^{\frac{3}{2}}\,G^{\frac{1}{2}}\,S^{-2}.$$

Zur Bestimmung der Einheit der elektromotorischen Kraft E (vergl. S. 15) dient die Gleichung:

Arbeit = Masse × elektromotorischer Kraft

oder

$$A = Q\,E,$$

woraus folgt:

$$E = \frac{A}{Q}.$$

Setzt man für Arbeit und Masse die Kongreßwerte ein, so erhält man:

$$E = C^{\frac{1}{2}} G^{\frac{1}{2}} S - 1.$$

Um den Ausdruck für die Einheit des Widerstandes zu erhalten, hat man das von Ohm entdeckte sogenannte Ohmsche Gesetz zu benutzen, welches besagt, daß der Widerstand gleich dem Quotienten aus elektromotorischer Kraft durch Stromstärke ist. Setzt man für die Widerstandseinheit R, so hat man danach:

$$R = \frac{E}{J} = \frac{C^{\frac{1}{2}} G^{\frac{1}{2}} S - 1}{C^{\frac{3}{2}} G^{\frac{1}{2}} S - 2} = C^1 S.$$

16. Wie erfolgt die Bestimmung der absoluten elektrischen Größen in CGS-Einheiten nach dem elektrodynamischen oder elektromagnetischen System?

Als absolute Einheit des Magnetismus betrachtet man diejenige Menge desselben, welche, an einem Punkte vereinigt gedacht, auf eine gleich große, in einem zweiten Punkte im Abstande gleich der Längeneinheit konzentrierte Masse eine Anziehungs- oder Abstoßungskraft gleich der absoluten Krafteinheit ausübt. Ferner gilt als Grundsatz für die Messung der Stromstärke mittels der Magnetnadel, daß die Anziehungs- oder Abstoßungskraft eines kleinen geschlossenen Stromkreises gleich derjenigen eines kurzen Magnets ist, dessen Axe auf der Ebene des Stromkreises senkrecht steht und dessen Moment gleich dem Produkte aus dem Flächeninhalte des Stromkreises in die Stromstärke ist.

Die Bestimmung der Quantität (Masse) Q erfolgt in dem elektrodynamischen System mittels elektromagnetischer Kraftwirkung in derselben Weise wie im elektrostatischen System durch Anwendung des Coulombschen Gesetzes und man erhält daher ebenfalls

$$Q = C^{\frac{3}{2}} G^{\frac{1}{2}} S - 1.$$

Befindet sich ein Magnetpol im Zentrum eines kreisförmigen elektrischen Stromes von der Stärke J und ist der Umfang dieses Kreises, d. i. die Länge des den Stromkreis bildenden Leitungsdrahtes gleich l, ferner der Radius des Kreises gleich r, so gilt für die Resultante F der anziehenden resp. abstoßenden Kräfte, mit welcher der Kreisstrom auf die kleine Magnetnadel von der magnetischen Quantität m einwirkt, die Gleichung:

$$F = \frac{J\,l}{r^2}\,m.$$

Als Einheit der Stromstärke ist nun diejenige gewählt worden, welche ein Strom besitzt, der in einem Kreise vom Radius Eins (1 cm) zirkuliert und pro Längeneinheit (cm) des Stromkreises auf einen Magnetpol von der Intensität Eins die Kraft Eins ausübt.

Die so erhaltene Stromeinheit heißt die elektromagnetische Stromeinheit und die Elektrizitätsmenge, welche derselben entsprechend in der Sekunde durch einen Querschnitt des Stromkreises strömt, heißt zu Ehren Faradays ein Farad.

Soll durch die obige Gleichung der Wert von J bestimmt werden, so erhält dieselbe die Form:

$$J = \frac{r^2}{l}\,\frac{F}{m};$$

man kann aus dieser Gleichung die Dimensionen der Stromeinheit ermitteln. Das Verhältnis $r^2 : l$ bedeutet Längeneinheiten (C) und die Werte der Krafteinheit F und der Quantitätseinheit $m = G$ sind respektive:

$$F = C\,G\,S^{-2} \text{ und } m = G = C^{\frac{3}{2}}\,G^{\frac{1}{2}}\,S^{-1};$$

hieraus folgt:

$$J = C\,\frac{C\,G\,S^{-2}}{C^{\frac{3}{2}}\,G^{\frac{1}{2}}\,S^{-1}} = C^{\frac{1}{2}}\,G^{\frac{1}{2}}\,S^{-1}.$$

Multipliziert man die Einheit der Stromstärke J durch die Zeiteinheit S, so erhält man die Einheit der Elektrizitätsmenge, das sogenannte Farad:

$$Q = \frac{J}{S} = C^{\frac{1}{2}}\,G^{\frac{1}{2}}.$$

Dividiert man die Arbeitseinheit A (vergl. S. 19) durch die Quantitätseinheit Q, so erhält man die elektromotorische Kraft

$$E = \frac{A}{Q} = \frac{C^2\,G\,S^{-2}}{C^{\frac{1}{2}}\,G^{\frac{1}{2}}} = C^{\frac{3}{2}}\,G^{\frac{1}{2}}\,S^{-2}.$$

Nach dem Ohmschen Gesetz (vergl. S. 22) ist die elektromagnetische Widerstandseinheit W gleich dem Quotienten aus der elektromotorischen Kraft E durch die Stromstärke J, so daß man erhält:

$$W = \frac{E}{J} = \frac{C^{\frac{3}{2}}\,G^{\frac{1}{2}}\,S^{-2}}{C^{\frac{1}{2}}\,G^{\frac{1}{2}}\,S^{-1}} = C\,S^{-1}.$$

Die Einheit der Kapazität K wird aus der Gleichung bestimmt $Ke = q$, d. i. Kapazität $\times$ elektromotorische Kraft (Spannung) = Elektrizitätsmenge (Ladung), und daher besteht für die Einheit der Kapazität die Gleichung:

$$K = \frac{Q}{E} = \frac{C^{\frac{1}{2}} G^{\frac{1}{2}}}{C^{\frac{3}{2}} G^{\frac{1}{2}} S^{-2}} = C^{-1} S^2.$$

Vergleicht man die Einheit der elektrostatischen Elektrizitätsmenge $C^{\frac{3}{2}} G^{\frac{1}{2}} S^{-1}$ (vergl. S. 21) mit der Einheit der elektromagnetischen Elektrizitätsmenge $C^{\frac{1}{2}} G^{\frac{1}{2}}$, so hat das Verhältnis der erstern zur letztern die Dimension $C S^{-1}$ und entspricht somit einer Geschwindigkeit. Die Bestimmung dieses Verhältnisses, welches gewöhnlich mit v bezeichnet wird, ist von den bedeutendsten Elektrikern unternommen worden und man hat dafür nach William Thomson zu setzen

$$v = 288 \,.\, 10.^8 \text{ cm in der Sekunde.}$$

Nach diesem Verhältnis hat man also eine in Farad ausgedrückte Elektrizitätsmenge mit 28 800 000 000 zu multiplizieren.

Die folgende Tabelle dient nach Uppenborn zur Vergleichung des elektromagnetischen und elektrostatischen Systems:

Dimensionen der Einheit für	System		Verhältnis beider Einheiten
	elektromagn.	elektrostat.	
Elektrizitätsmenge . .	$C^{\frac{1}{2}} G^{\frac{1}{2}}$	$C^{\frac{3}{2}} G^{\frac{1}{2}} S^{-1}$	v^{-1}
Stromstärke	$C^{\frac{1}{2}} G^{\frac{1}{2}} S^{-1}$	$C^{\frac{3}{2}} G^{\frac{1}{2}} S^{-2}$	v^{-1}
Widerstand	$C S^{-1}$	$C^{-1} S$	v^2
Elektrom. Kraft . . .	$C^{\frac{3}{2}} G^{\frac{1}{2}} S^{-2}$	$C^{\frac{1}{2}} G^{\frac{1}{2}} S^{-1}$	v

17. Welche Maßeinheiten haben gegenwärtig nach den Beschlüssen des internationalen Kongresses der Elektriker Geltung?

Von diesem Kongresse ist das früher von der British Association aufgestellte Maßsystem mit Abänderung einiger Bezeichnungen an-

genommen worden und sind die bezüglichen Angaben in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

zu messende Größen	Bezeichnung	Verhältnis zur absol. Einheit CGS
Elektrizitätsmenge	Megacoulomb	10^5
	Coulomb	10^{-1}
	Mikrocoulomb	10^{-7}
Stromstärke	Megampère	10^5
	Ampère	10^{-1}
	Mikroampère	10^{-7}
Widerstand	Megohm	10^{15}
	Ohm	10^9
	Mikrohm	10^3
Elektrom. Kraft	Megavolt	10^{14}
	Volt	10^8
	Mikrovolt	10^2
Elektrische Kapazität	Megafarad	10^{-3}
	Farad	10^{-9}
	Mikrofarad	10^{-15}

Für Elektrizitätsmenge und Stromstärke waren früher die Bezeichnungen Weber, beziehentlich Megaweber und Mikroweber gebräuchlich, welche aber von dem Kongresse der dabei möglichen Verwechselungen wegen durch Coulomb und Ampère ersetzt wurden.

Zweiter Abschnitt.

Die hauptsächlichsten Erscheinungen und Gesetze der Elektrizität.

Viertes Kapitel.

Die Elektrizitätsarten und elektrischen Leiter.

18. Welches sind die Mittel zur Herstellung elektrischer Erscheinungen?

Der elektrische Zustand kann entweder durch die Ausübung einer unter gewissen Verhältnissen stattfindenden mechanischen Arbeit, z. B. durch Reibung zweier verschiedenartiger Körper, oder auch durch Wärme, Licht, chemische Wirkung und durch andere Effekte hervorgerufen werden. Man unterscheidet deshalb der bequemen Übersicht der bezüglichen Verrichtungen wegen verschiedene Elektrizitätsarten. Diese Unterscheidungsweise bezieht sich jedoch nur auf die Elektrizitätsquellen, indem die Elektrizität selbst in allen Fällen dieselbe ist. In diesem Sinne sind etwa die folgenden Elektrizitätsarten aufzuführen:

1. Dynamoelektrizität (im allgemeinen),
2. Reibungselektrizität (im speziellen),
3. Kontaktelektrizität,
4. Magnetelektrizität,
5. Induktionselektrizität (im allgemeinen),
6. Influenzelektrizität (im speziellen),
7. Thermoelektrizität,
8. Photoelektrizität.

19. Was versteht man unter guten und schlechten Elektrizitätsleitern?

Schlechte Leiter der Elektrizität sind solche Körper, welche unter der Beeinflussung eines andern, elektrisch erregten (elektrisierten) Körpers nur an der Stelle eine elektrische Erregung zeigen, wo sie direkt von dem elektrisierten Körper beeinflußt werden, während gute Leiter die an einer Stelle ihrer Oberfläche aufgenommene Elektrizität sofort auf der ganzen Oberfläche verbreiten. Die schlechtesten Leiter werden auch Isolatoren genannt, während man gute Leiter als Konduktoren bezeichnet. Körper, die zwischen den guten und den schlechten Leitern eine Mittelstellung einnehmen, nennt man Halbleiter. Übrigens ist das gute oder schlechte Leitungsvermögen der Körper nur relativ, d. h. es bildet keine spezifische Eigenschaft der Körper, sondern hängt von gewissen Umständen, z. B. von der Feuchtigkeit, Temperatur u. s. w., ab.

Mehr oder minder gute Leiter der Elektrizität sind alle Metalle, ferner Kohle, Säuren, Salze und ihre Lösungen, gewöhnliches Wasser, Schnee, organische Körper, Glas bei 400° Erhitzung und manche geschmolzene Körper, die im festen Zustande Nichtleiter sind, sowie erwärmte Gase, feuchte Luft. Halbleiter sind: Alkohol, Äther, Glaspulver, Schwefelblüte, trockenes Holz, Marmor, Papier, Stroh, Eis bei 0°.

Schlechte Leiter sind: trockene Metalloxyde, Öle, Asche, Eis bei — 20°, Phosphor, Kalk, Kreide, Kautschuk, Guttapercha (ein sehr gutes Isolationsmittel), Porzellan, Glas, Achat, Bernstein, Harze, Fell, Pergament, Haare, Wolle, Seide, Federn, Schwefel, trockene Luft, chemisch reines Wasser und trockene kalte Gase.

Das Leitungsvermögen der festen Körper nimmt in der Regel proportional mit der Temperatur zu, oder — wie man auch sagen kann — der Widerstand (gegen die Leitung der Elektrizität) steigert sich in der Regel proportional zur Temperatur.

Ihrem elektrischen Leitungsvermögen oder auch ihrem elektrischen Widerstande nach kann man die Metalle folgendermaßen in eine Reihe bringen, wobei man das Leitungsvermögen und den Widerstand des Kupfers als Eins setzt*).

	Leitungsvermögen	Widerstand
Kupfer	= 1	= 1
Aluminium	= 7.14	= 0.14
Silber	= 1.48	= 0.67

*) Merlin, „Telegraphentechnik".

	Leitungsvermögen	Widerstand
Gold	= 0.88	= 1.13
Stahl	= 0.77	= 1.30
Messing	= 0.28	= 3.61
Zink	= 0.27	= 3.69
Eisen	= 0.18	= 5.66
Platin	= 0.16	= 6.44
Zinn	= 0.14	= 6.80
Nickel	= 0.13	= 7.60
Blei	= 0.12	= 9.70
Neusilber	= 0.08	= 11.54
Quecksilber	= 0.02	= 49.49.

In ähnlicher Weise hat man mehrere Flüssigkeiten als Leiter zweiter Ordnung geordnet und bei Kupfer als Einheit den Widerstand, also den reziproken Wert des Leitungsvermögens, wie folgt gefunden:

Schwefelsäure	=	465 000 bis 685 000
„ mit elf Teilen Wasser	=	752 000
Gesättigte Lösung von Kupfervitriol	=	7 000 000 bis 8 000 000
„ „ mit zwei Teilen Wasser	=	11 600 000
„ „ von Zinkvitriol	=	1 570 000
„ „ von Kochsalz	=	2 115 000
Konzentrierte Salpetersäure	=	1 100 000
Destilliertes Wasser	=	3 000 000 000.

Das Leitungsvermögen der Flüssigkeiten nimmt mit der abnehmenden Temperatur ab, indem sich der Widerstand steigert, und zwar erfolgt die Abnahme des Leitungsvermögens bei höherer Temperatur langsam, bei niederer Temperatur schneller; dasselbe gilt natürlich für die Steigerung des Widerstandes.

Aus den oben zusammengestellten Zahlen ergiebt sich, daß der sogenannte **spezifische Widerstand** dem **relativen Leitungsvermögen** umgekehrt proportional ist.

Fünftes Kapitel.

Von der elektrischen Ladung und Kapazität.

20. Wie verhält sich ein hohler geschlossener Leiter, in dessen Innern sich ein elektrisierter Körper befindet?

Das Potential eines von innen durch einen elektrisierten Körper beeinflußten Leiters ist gerade so groß, als wäre die ganze Energie

des inwendigen elektrisierenden Körpers direkt dem ihn umschließenden Leiter mitgeteilt worden. Diese Erscheinung bildet ein Grundgesetz der Elektrizitätslehre und sie wird nach ihrem Entdecker als das Faradaysche Theorem bezeichnet. Faraday stellte zum Nachweis dieser Thatsache den in Fig. 3 illustrierten Versuch an: In ein cylindrisches Metallgefäß A, welches auf einer isolierenden Unterlage steht, wird eine an einem Seidenfaden hängende elektrisierte Kugel B eingesenkt. Hierdurch wird dem Metallcylinder ein gewisses Potential mitgeteilt, welches sich nicht verändert, wenn man die Kugel hin und her bewegt oder auch selbst mit dem Cylinder in Berührung kommen läßt. Man kann auch den Versuch in der Weise anstellen, daß man mehrere Metallcylinder von verschiedener Weite auf isolierenden Unterlagen in einander stellt und alsdann die elektrisierte Kugel in den innersten, kleinsten Cylinder einhängt. Auf diese Weise erhält jeder Cylinder ein gewisses Potential, welches sich bei der Bewegung der Kugel im innersten Cylinder, oder auch bei deren Berührung mit diesem Cylinder nicht verändert.

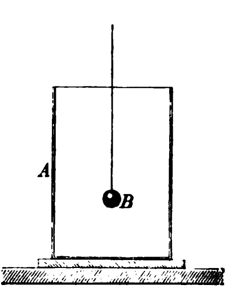


Fig. 3.

Befinden sich in einem vollkommen geschlossenen Leiter zwei Körper von gleich großen aber in ihren Zeichen (+ und —) entgegengesetzten Potentialen, so muß nach Faradays Theorem der sie umschließende Leiter des Potentials Null haben.

Hieraus folgt der Satz:

Im Innern eines vollkommen geschlossenen elektrisierten Leiters ist der Wert des Potentiales bis an dessen Oberfläche konstant.

21. Welche Gesetze gelten bezüglich der Ladung und Kapazität eines Leiters oder Konduktors?

Die Leiter, vorzugsweise die Metalle, und gewöhnlich Kupfer oder Messing, müssen isoliert und ohne Kanten und Ecken sein, wenn sie geladen werden, d. h. durch Mitteilung Elektrizität aufnehmen sollen. Infolge des Leitungsvermögens breitet sich die empfangene Elektrizität sofort über die ganze Ober-

fläche eines homogenen Leiters aus und versetzt denselben in den sogenannten Spannungszustand. Hierbei herrscht in allen Punkten eines elektrischen Leiters Gleichgewicht und die Resultante aller auf einen Punkt der Oberfläche oder im Innern des Leiters ausgeübten elektrischen Wirkungen ist gleich null; daher ist das Potential eines elektrisierten Leiters auf der ganzen Oberfläche und im Innern des Leiters konstant. Befinden sich also zwei Massenpunkte, welche dasselbe Potential haben, in einem Raume, der ebenfalls überall dasselbe Potential wie die beiden Punkte hat, so üben solche Punkte keine elektrische Wirkung auf einander aus, d. h. sie ziehen sich weder an, noch stoßen sie einander ab.

Im Innern eines Leiters findet also keine elektrische Wirkung statt, sondern die Wirkung kommt nur auf der Oberfläche des Leiters zum Vorschein.

Die Art der Verteilung der Elektrizität auf der Oberfläche eines Leiters hängt von dessen Form ab. Ist der Leiter kugelförmig, so ist die Elektrizität auf allen Punkten der Oberfläche gleichmäßig verteilt. Bei länglichen, z. B. cylindrischen, Körpern mit halbkugeligen Enden ist die Ladung an den Enden am stärksten. Endet der Körper in eine scharfe Kante, Ecke oder Spitze, so häuft sich an dieser Stelle die Elektrizität am meisten an und überwindet wegen der daselbst stark anwachsenden Potentialdifferenz am leichtesten den isolierenden Widerstand des umgebenden Mittels, also etwa der Luft.

22. Was versteht man unter der Kapazität eines Leiters?

Die Kapazität eines Leiters wird durch das konstante Verhältnis $Q : V$, d. h. als Quotient der auf der Oberfläche des Leiters verteilten Elektrizitätsmenge Q durch das Potential V des Leiters ausgedrückt. Mit anderen Worten: Die Kapazität eines Leiters ist diejenige elektrische Ladung, welche notwendig ist, um das innere Potential eines Leiters von null auf die Einheit zu erhöhen. Die Kapazität einer leitenden Kugeloberfläche wird durch den Radius gemessen.

23. Wie läßt sich der Nachweis führen, daß die elektrische Wirkung im Innern eines Leiters gleich null ist?

Dieser Nachweis läßt sich folgendermaßen führen. Im Innern eines isoliert aufgestellten hohlen Metallcylinders (Fig. 4 S. 31) sind zwei isolierte Metallstäbchen a und b eingelassen, an denen zwei Hollundermarkkügelchen an dünnen Drähten hängen. Die beiden offenen Seiten des Cylinders sind durch Drahtgaze geschlossen, so

daß man hineinsehen kann. Wird der Mantel des Cylinders nebst den beiden Metallstäbchen a und b von einer und derselben Elektrizitätsquelle mit demselben Potential geladen (was dadurch erreicht werden kann, daß man die bezeichneten Teile mit der innern Belegung einer Leydener Flasche in Verbindung bringt), so werden auch bei starker Ladung die Kügelchen unbeweglich bleiben. Es ist dies ein augenscheinlicher Beweis dafür, daß alle Punkte im Innern des geladenen Cylinders das gleiche Potential haben, denn allseitig auf einen Punkt gleichstark wirkende Kräfte halten einander im Gleichgewicht. Demnach existieren auch im Innern des angenommenen Cylinders (Fig. 4) unter den bemerkten Umständen keine Kraftlinien, weil dieselben zu ihrer Entstehung eine Potentialdifferenz erfordern. Im allgemeinen kann man die Ladung eines beliebigen Leiters, d. h. die von demselben aufgenommene Elektrizitätsmenge Q gleich dem Produkte aus dessen innerm Potential V (d. h. dem Potential der ganzen Ladung) und seiner Kapazität C setzen, so daß also die Gleichung gilt:



Fig. 4.

$$Q = CV.$$

Wird ein elektrisierter Leiter mit der Erde in Verbindung gebracht, so wird sein Potential gleich null, d. h. er wird entladen.

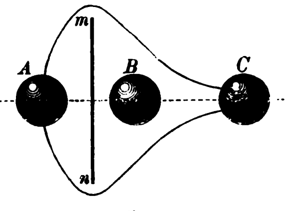


Fig. 5.

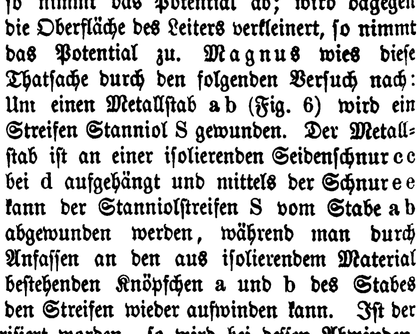
24. Wie verhält es sich mit dem sogenannten elektrischen Schatten?

Wird vor einen elektrisierten Körper (Leiter) A (Fig. 5) eine leitende Wand (eine Metallscheibe) m n gebracht, die mit der Er‑ in leitender Verbindung steht, so können die vom Körper A a‑

gehenden Kraftlinien die Wand nicht durchdringen, sondern sie können nur um deren Rand herumgehen, so daß unmittelbar hinter der Wand keine elektrische Wirkung zu spüren ist, sondern dieselbe erst in einer gewissen Entfernung hinter der Wand beginnt. Ein nahe hinter die Wand gebrachter Körper B wird daher keine elektrische Wirkung empfangen, weil derselbe im sogenannten elektrischen Schatten sich befindet, während ein weiter von der Wand entfernter Körper C der elektrischen Wirkung ausgesetzt ist, weil er in das Bereich der Kraftlinien kommt. Am besten benutzt man zu diesem Versuch ein an einem Seidenfaden hängendes Hollundermarkkügelchen.



Fig. 6.



25. Wie verhält es sich mit dem Potential, wenn die Oberfläche des geladenen Leiters verändert wird?

Wird die Oberfläche des Leiters vergrößert, so nimmt das Potential ab; wird dagegen die Oberfläche des Leiters verkleinert, so nimmt das Potential zu. Magnus wies diese Thatsache durch den folgenden Versuch nach: Um einen Metallstab a b (Fig. 6) wird ein Streifen Stanniol S gewunden. Der Metallstab ist an einer isolierenden Seidenschnur c c bei d aufgehängt und mittels der Schnur e e kann der Stanniolstreifen S vom Stabe a b abgewunden werden, während man durch Anfassen an den aus isolierendem Material bestehenden Knöpfchen a und b des Stabes den Streifen wieder aufwinden kann. Ist der Stanniol vorher elektrisiert worden, so wird bei dessen Abwinden, d. i. bei der Vergrößerung der Oberfläche des Leiters, dessen Potential sich verkleinern und beim Aufwinden, d. i. bei Verkleinerung der Oberfläche des Leiters, dessen Potential sich vergrößern. Diese Änderungen des Potentials lassen sich durch ein paar bei m an feinen Drähten aufgehängte Hollundermarkkügelchen oder Strohhalme bemerkbar machen, welche um so mehr auseinanderfahren, je stärker das Potential des Leiters und demzufolge auch ihr eigenes ist.

Diese Erscheinung bietet eine Analogie mit der Wärme. Dehnt sich ein Gas aus, so sinkt dessen Temperatur, ohne daß dabei Wärme abgeführt worden wäre, und verdichtet sich das Gas, so steigt seine

Temperatur, ohne daß Wärme zugeführt worden wäre. Auf Grund dieser Erscheinung läßt sich also für die Elektrizität ein ähnlicher Kreisprozeß zur Ausführung bringen, wie Carnot denselben für die Wärme in Ausführung gebracht hat.

26. In welcher Beziehung steht der elektrische Zustand zu der mechanischen Arbeit?

Die Kraftlinien der auf einander einwirkenden elektrischen Körper leisten dadurch Arbeit, daß sie durch Anziehung oder Abstoßung die gegenseitige Lage der Körper verändern, wobei gleichzeitig aber auch der Verlauf der Kraftlinien selbst eine entsprechende Änderung erleidet. Wird dagegen durch äußere Kräfte die ursprüngliche Lage der im gegenseitigen Gleichgewichtszustande befindlichen elektrischen (oder magnetischen) Körper geändert, so wird infolge der dabei sich ebenfalls ändernden Form der Kraftlinien mechanische Arbeit in elektrischen Zustand übergeführt, d. h. durch mechanische Arbeit wird die Potentialdifferenz elektrisierter (oder auch magnetisierter) Körper vergrößert.

27. Was versteht man unter elektrischer Induktion und was unter Influenz?

Man hat vor allen Dingen zwei Arten der elektrischen Induktion zu unterscheiden: die elektrostatische Induktion und die elektrodynamische Induktion. Die Wirkungen der elektrostatischen Induktion sind beständig, diejenigen der elektrodynamischen Induktion geben Anlaß zu momentan auftretenden elektrischen Strömungen, welche erst später bei der Besprechung der Stromwirkungen näher zu besprechen sind.

Die elektrostatische Induktion tritt ein, wenn ein isolierter Leiter durch Annäherung eines elektrisierten Körpers beeinflußt wird. Diese elektrostatische Induktion wird auch als Influenz oder Verteilung bezeichnet und läßt sich am besten nach der Fluidaltheorie auf die folgende Weise darstellen: Der induzierende, elektrisierte Körper, welcher sich in einem einheitlichen elektrischen Zustande, also z. B. in der Form einer geriebenen Glasstange, im positiv-elektrischen Zustande befindet, bewirkt auf der Oberfläche des in seine Wirkungssphäre gebrachten, bis dahin neutralen isolierten Leiters eine Scheidung oder Verteilung der beiden Elektrizitäten, indem er die ihm entgegengesetzte, also in diesem Falle die negative, anzieht und die positive abstößt, so daß sich das ausgeschiedene negative Fluidum an dem Ende des isolierten Leiters ansammelt, welches dem induzierenden

positiven Körper zunächst liegt, während die dem elektrischen Zustande des induzierenden Körpers gleichartige Elektrizität, d. i. hier die positive, sich auf der Gegenseite des isolierten, nunmehr induzierten Körpers (den wir uns als eine auf einem Glasfuß befestigte Kugel denken können) verteilt wird. Es würde sich die ganze negative Elektrizität zunächst des induzierenden Körpers ansammeln, wenn nicht zugleich die nun ebenfalls aus ihrem Gleichgewichtszustande gebrachte negative Elektrizität ihre Anziehung auf die positive Elektrizität ausübte; natürlich ist diese Anziehung zwischen den beiden verteilten Elektrizitäten gegenseitig. Die Verteilung und die dadurch hervorgerufene elektrische Spannung wird auf dem induzierten Körper um so stärker, je näher ihm der induzierende Körper kommt, und wenn die Annäherung eine gewisse Grenze erreicht hat, so kann mittels einer am Leiter angebrachten Spitze ein Überströmen der angezognen Elektrizität oder auch ein Funkenüberschlag erfolgen, wodurch die Verteilung aufgehoben wird.

Entfernt man einen auf diese Weise statisch induzierten oder influenzierten Körper (isolierten Leiter) aus der Wirkungssphäre des ihn influenzierenden elektrisierten Körpers, ohne ihn vorher ableitend berührt zu haben, so verschwindet der durch die Influenz oder Verteilung hervorgerufene polare Zustand des Leiters. Wird aber der isolierte Leiter während seiner Influenzierung an der Seite, wo die abgestoßene Elektrizität (im gedachten Falle die positive) sich angesammelt hat, ableitend berührt, so verliert derselbe die von dem induzierenden Körper abgestoßene, diesem gleichartige Elektrizität, worauf alsdann die an der Gegenseite angezogene, dem induzierenden Körper ungleichnamige Elektrizität in verstärkter Spannung auftritt.

28. Was versteht man unter einem elektrischen Kondensator?

Ein elektrischer Kondensator dient zum Ansammeln einer größern Menge von Elektrizität, d. h. zur Verstärkung der Potentialdifferenz. Der älteste Kondensator dieser Art ist die Franklinsche Tafel (Ladungstafel), welche aus einer auf einem Fuße befestigten vertikal stehenden Glastafel besteht, die auf beiden Seiten bis zu einem etwa fingerbreiten Abstande vom Rande mit Stanniol überzogen ist. Eine andere Art des Kondensators ist die Leidener Flasche, welche aus einer gewöhnlichen Flasche oder gewöhnlich aus einer weiten Glasbüchse mit gefirnistem Holzdeckel besteht und bis zu einem gewissen Abstande vom Mündungsrande innen und außen mit Stanniol überzogen ist. Eine enghalsige Flasche wird

innen mit einem Klebmittel und dann mit Metallspänen ausgeschwenkt. Durch die Mündung wird ein starker steifer Draht, der oben in eine Metallkugel, unten aber in mehrere feinere Drähte endet, eingeführt, so daß derselbe mit der innern Metallbelegung in Berührung kommt. Ein solcher Kondensator besteht demnach in der Hauptsache aus zwei parallelen, auf große Flächen ausgebreiteten und durch eine Isolierschicht getrennten Leitern.

Die Ladung eines Kondensators, d. h. die Verstärkung seiner Potentialdifferenz, darf nur bis zu einer gewissen Grenze getrieben werden, welche von der Dicke der Isolierschicht abhängig ist. Infolge der verhältnismäßig großen Ausdehnung der leitenden Flächen ist die Kapazität eines solchen Kondensators ziemlich groß, d. h. zur Hervorbringung einer gewissen Potentialdifferenz muß eine ziemlich große Menge mechanischer Arbeit (Energie) in elektrische Erregung umgewandelt werden. Der Zweck eines elektrischen Kondensators wird um so besser erreicht, je größer einesteils die Ausbreitung der leitenden Flächen und je größer anderenteils die spezifische Induktionskapazität der dazwischen befindlichen Isolierschicht ist. Am besten eignet sich deshalb Glas als Isolierungsmittel. Wird ein Kondensator mit einer zu starken Potentialdifferenz geladen, so wird die Entladung durch die Isolierschicht hindurch stattfinden und somit der Apparat unbrauchbar werden. Je größer die Potentialdifferenz der Kondensatorladung angenommen wird, desto dicker muß die Isolierschicht sein, jedoch wird dadurch auch wiederum die Kapazität des Kondensators vermindert. Um einen elektrischen Kondensationsapparat zu erhalten, der eine große Kapazität besitzt und gleichzeitig eine Ladung bis zu einer starken Potentialdifferenz verträgt, vereinigt man mehrere Kondensatoren zu einer Batterie.

29. Wie wird eine Kondensationsbatterie hergestellt und wie ist deren Wirkungsweise?

Mit Bezug auf die aus Leidener Flaschen zu bildende Batterie unterscheidet man zwei Arten solcher Batterieen je nach der Art ihrer Verbindung, nämlich die gewöhnliche Batterie und die Kaskaden- oder Franklinsche Batterie; die erstere wird auch als Flächen-, Kapazitäts- oder Quantitätsbatterie, die zweite als Spannungsbatterie bezeichnet. Die Anordnung der Kapazitätsbatterie ist in Fig. 7 S. 36 dargestellt; es sind hierbei die einzelnen Kondensatoren (Leidener Flaschen) der Rei-

nach mit ihren Leitungsflächen (**Belegen**) in der Weise mittels Drähte verbunden, daß zwei große, den äußeren und inneren Belegen der Flaschen entsprechende Flächen gebildet werden, indem die Kugeln nur mit den inneren Belegen in Verbindung stehen. Man erhält so eine Batterie mit einer durch die zulässige Potentialdifferenz (Ladungsstärke) des einzelnen Kondensators bedingten Ladungsintensität, aber mit einer der Summe der Kondensatoren entsprechenden Kapazität.

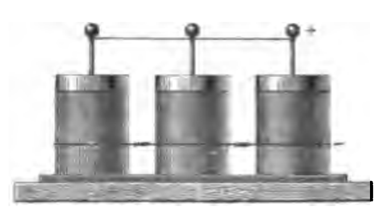


Fig. 7.

Je größer also die Anzahl der in dieser Weise vereinigten Kondensatoren ist, ein desto größeres Quantum Elektrizität von bestimmtem Potential (bestimmter Spannung) kann darin angesammelt und zur Verwendung gebracht werden.

Die **Kaskaden-** oder **Spannungsbatterie**, auch **Potentialbatterie** ist aus einzelnen Leidener Flaschen in der Weise zusammengesetzt, wie Fig. 8 zeigt. Es ist hier immer der innere Beleg des einen Kondensators durch einen von dessen Kugel ausgehenden Draht mit dem äußern Beleg des einen nächsten Kondensators verbunden. Diese Batterie hat angenähert die Wirkung eines einzigen Kondensators, dessen Isolierschicht bezüglich ihrer Dicke und folglich auch ihrer Widerstandsfähigkeit gegen den Spannungsunterschied oder die Potentialdifferenz gleich ist der Summe der Dicken sämtlicher Isolierschichten und dessen Fläche oder Kapazität gleich ist der Fläche eines einzelnen der verbundenen Kondensatoren. Eine derartige Batterie kann also bis zu einem Potential geladen werden, dessen Größe im Verhältnis zum Potential (der Ladungsspannung) sich direkt verhält, wie die Zahl der verbundenen Kondensatoren zur Einheit. Man kann selbstverständlich auch eine solche Batterie aus einzelnen

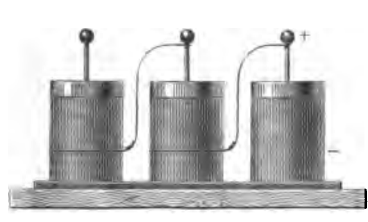


Fig. 8.

Franklinschen Tafeln oder Plattenkondensatoren herstellen. Für gewisse Zwecke lassen sich auch Kondensatoren anwenden, die aus unechtem Silberpapier (beiderseits verzinntem Papier), mit paraffingetränktem gewöhnlichem Papier dazwischen hergestellt sind.

Sechstes Kapitel.

Vom elektrischen Strome.

30. Unter welchen Umständen entsteht ein elektrischer Strom und was ist über dessen Wesen zu bemerken?

Ein elektrischer Strom entsteht, wenn einem elektrisierten Körper Gelegenheit geboten wird, die seinem eignen Zustande entgegengesetzte Elektrizität aufzunehmen oder — wenn man will — zu entwickeln oder auch seine ihm schon innewohnende Elektrizität mit der entgegengesetzten Elektrizität zu verbinden. Im allgemeinen entsteht also in einem Körper ein elektrischer Strom infolge einer angestrebten Veränderung des Potentials. Dieser Zustand tritt ein, wenn ein elektrischer Körper von einem andern elektrischen Körper mit anderem Potential beeinflußt wird oder wenn man einen bisher isolierten elektrischen Körper in Verbindung mit der Erde bringt, oder wenn im allgemeinen eine Ursache zur Veränderung des elektrischen Potentials vorhanden ist und der elektrische Strom dauert so lange, bis das elektrische Gleichgewicht sich wieder hergestellt hat.

Nach der dualistischen Theorie, welche zwei elektrische Fluida annimmt, bewegen sich bei dem Eintritt und während des Vorhandenseins eines elektrischen Stromes die entgegengesetzt elektrischen Fluida gegen einander, um durch ihre Verbindung eine Neutralisation anzustreben. Bieten sich (nach dieser Anschauung) in einem solchen Falle den elektrischen Fluiden verschiedene Stromwege dar, so wählen dieselben denjenigen, wo sie den geringsten Widerstand finden, und bei gleicher Beschaffenheit der Stromwege den kürzesten Weg.

Die Zeitdauer der elektrischen Ströme ist verschieden und hängt von dem Widerstande des Leiters, sowie von der Elektrizitätsmenge ab, welche den Leiter zur Herstellung der elektrischen Neutralisation zu durchfließen hat. Ist die Elektrizitätsmenge nur gering und die Ursache, welche den elektrischen Spannungszustand herbeiführt, d. i. die elektromotorische Kraft nicht permanent, so ist bei guten Leite-

die Zeit der Stromdauer nicht wahrnehmbar und man nennt einen solchen blitzschnell vorübergehenden Strom einen momentanen Strom. Sobald aber die Erregungsursache der elektrischen Spannung (elektromotorische Kraft) eine meßbare ist und eine meßbare Zeit lang andauert, so ist die Dauer des Stromes ebenfalls meßbar und es dauert derselbe überhaupt so lange fort, als seine Elektrizität — elektromotorische Kraft oder Potentialdifferenz — vorhanden ist; es entsteht also in solchem Falle ein dauernder oder stetiger Strom.

Die Hervorbringung eines elektrischen Stromes erfordert stets einen Aufwand von Energie in irgend welcher Form, sei dieselbe mechanische Arbeit, oder chemische Verbindungskraft, Wärme ꝛc. Diese verschiedenen Formen von Energie können sich unter geeigneten Umständen in elektrische Wirkung umsetzen.

31. Was versteht man unter einem elektrischen Stromkreise?

Hierunter versteht man das ganze System, welches aus dem Elektrizitätserzeuger und den von der Erde isolierten Stromleitern gebildet ist. Der Stromkreis ist geschlossen, wenn derselbe in allen seinen Teilen nur aus gut leitenden Körpern besteht, speziell kurz geschlossen, wenn die Pole des Elektrizitätserzeugers möglichst direkt vereinigt sind; dagegen ist der Stromkreis geöffnet, wenn derselbe an irgend einer Stelle in seiner Leitungsfähigkeit soweit unterbrochen ist, daß der elektrische Strom den Raum zwischen den Enden der Leitung nicht zu durchbrechen vermag. Man unterscheidet noch einen innern und äußern Stromkreis und versteht unter dem erstern den Stromweg im Elektrizitätserzeuger selbst und unter letzterm den Stromweg in der übrigen Leitung.

32. Wie verhält sich der elektrische Strom zu seinem Leiter oder Schließungskreise?

Bei konstanter elektromotorischer Kraft, d. h. bei konstanter Differenz der Potentiale an beiden Enden des Schließungskreises (d. i. an den Polen des Elektrizitätserzeugers) ist der elektrische Strom in der ganzen Länge des Leiters konstant, gleichviel, ob der Schließungskreis aus einem homogenen Leiter bestehe oder aus verschiedenen Leitern zusammengesetzt sei, denn in solchem Falle strömt durch jeden Querschnitt des Leiters in derselben Zeit dieselbe [E]lektrizitätsmenge hindurch und der Strom hat in jedem Quer[schn]itte dieselbe Intensität. Der Widerstand in einem Leiter wird

um so größer, eine je größere Elektrizitätsmenge in einer gewissen Zeit durch einen Querschnitt hindurchzugehen, hat und durch diesen Widerstand wird ein entsprechender Teil des Stromes in Wärme umgewandelt, wodurch die Stromstärke entsprechend verringert wird.

33. Was versteht man unter elektromotorischer Wirkung und elektromotorischer Kraft?

Elektromotorische Wirkung ist die zwischen zwei Körpern wirksame Ursache, welche eine Differenz in deren elektrischen Zuständen (Potentialdifferenz) und damit zwischen denselben eine gegenseitige elektrische Arbeitsfähigkeit hervorruft, während mit elektromotorischer Kraft die Größe dieser Differenz bezeichnet wird.

Werden z. B. zwei gleichgroße mit isolierten Handgriffen versehene Scheiben, von denen die eine aus Glas, die andere aus Hartgummi (Ebonit) besteht, gegen einander gerieben, so entspricht die Arbeit, welche zu der Reibung aufgewendet wird, der elektromotorischen Wirkung; durch dieselbe nehmen die beiden Scheiben gleichgroße elektrische Arbeitsfähigkeit — oder wie man auch sagt: gleichgroße Potentiale — in entgegengesetztem Sinne und daher mit den entgegengesetzten Vorzeichen + und — an. Die elektromotorische Kraft ist daher numerisch gleich dem doppelten Potential der einen oder andern Scheibe, oder gleich dem doppelten Potential des einen von zwei gleichen, isolierten Leitern, an welche die beiden Scheiben respective ihre durch die Reibung erzeugte Ladung abgeben würden. Ist dagegen einer dieser beiden Leiter die Erde, so wird infolge des Abflusses der Elektrizität das Potential der zugehörigen Scheibe gleich null und wie die Erfahrung lehrt, verdoppelt sich in diesem Falle das Potential der andern Scheibe oder des isolierten Leiters, welcher die Ladung aufnimmt. Wenn im allgemeinen das Potential des einen Leiters auf irgend welche Weise zu- oder abnimmt, so wird das Potential des andern Leiters umgekehrt um ebensoviel ab- oder zunehmen, woraus folgt, daß eine bestimmte elektromotorische Wirkung stets eine konstante elektromotorische Kraft hervorbringt.

34. Welches Gesetz gilt für die Stromstärke?

Mit Bezug hierauf sind die folgenden Betrachtungen maßgebend: Je mehr elektromotorische Kraft einem geschlossenen Stromkreise zugeführt wird und je leichter sich die elektrische Erregung in demselben fortpflanzen kann, desto kräftiger erfolgt im allgemeinen die

Ausgleichung der entgegengesetzten elektrischen Fluida und desto stärker ist der elektrische Strom. Der Widerstand im Schließungskreise wirkt stets schwächend auf den Strom ein und es ist daher die Intensität des Stromes von der elektromotorischen Kraft (z. B. der Batteriestärke) und der Leitungsfähigkeit des Schließungskreises direkt abhängig. Da das Leitungsvermögen des Schließungskreises in der Regel als Widerstand zum Ausdruck kommt und da der Widerstand das Umgekehrte des Leitungsvermögens ist, so kann man auch sagen: Die Stromintensität J ist der elektromotorischen Kraft E direkt und der Länge des vom Strome durchflossenen Weges (als Widerstand W ausgedrückt) umgekehrt proportional, so daß demnach die Gleichung gilt:

$$J = \frac{E}{W}.$$

Befinden sich in einem Schließungskreise mehrere Stromquellen, oder denkt man sich die vorhandene Stromquelle in mehrere zerlegt, indem man z. B. jedes Batterie-Element für sich betrachtet, wobei man die einzelnen elektromotorischen Kräfte mit e_1, e_2, e_3 u. s. f., die bezüglichen Widerstände aber mit w_1, w_2, w_3 u. s. f. bezeichnet, so ist:

$$J = \frac{e_1 + e_2 + e_3 + \ldots}{w_1 + w_2 + w_3 + \ldots}.$$

Diese Gleichung drückt das für die Elektrizitätslehre äußerst wichtige Ohmsche Gesetz aus.

35. Welches Gesetz gilt für die Stromverzweigung?

Für die Verzweigung der elektrischen Leitungen gilt der Satz: Von jedem Punkte einer Leitung muß in jedem Augenblicke so viel Elektrizität abfließen als zufließt. Zur Bestimmung der Stromstärke dienen in diesem Falle die Kirchhoffschen Gesetze, welche besagen:

1) Wenn in einem Punkte mehrere Ströme infolge der Verzweigung der Leitungsdrähte zusammentreffen, so ist die algebraische Summe aus den sämtlichen Stromstärken (d. i. die Summe aus den Stärken der positiven und negativen Ströme) gleich null.

2) In allen Leitungsdrähten, welche eine geschlossene Figur bilden, ist die algebraische Summe aller Produkte aus den Stromstärken einer jeden Strecke und dem Widerstande derselben gleich der Summe aller in dieser Strecke befindlichen elektromotorischen Kräfte.

Den ersten Fall illustriert Fig. 9. Es ist E der Elektrogenerator (z. B. die Batterie einer Telegraphenleitung), dessen positiver Strom durch eine mehrfach verzweigte Leitung geht, während der

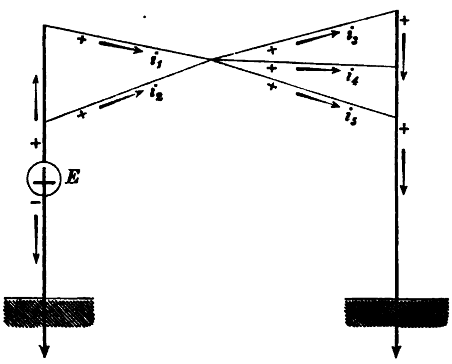


Fig. 9.

Stromkreis durch Schluß mit der Erde hergestellt ist. Die Intensitäten der einzelnen Zweigströme sind mit i_1, i_2, i_3, i_4 und i_5

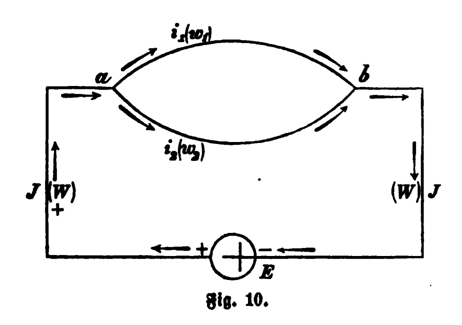


Fig. 10.

bezeichnet. Nach dem ersten Kirchhoffschen Gesetze gilt dafür die Gleichung:

$$i_1 + i_2 = i_3 + i_4 + i_5,$$

oder

$$i_1 + i_2 - (i_3 + i_4 + i_5) = 0.$$

Den zweiten Fall illustriert Fig. 10. Es ist hier wiederum E der Elektrogenerator und der denselben einschließende Stromkreis verzweigt sich in einer geschlossenen Figur a b. Hierbei sind die Intensitäten (Stromstärken) als positiv zu bezeichnen, wenn die nach derselben Richtung laufenden Ströme dieselbe Richtung beibehalten, dagegen als negativ, wenn dieselben die entgegengesetzte Richtung annehmen. Es ist nun leicht einzusehen, daß die Summe der Intensitäten dieser Zweigströme der Intensität des ungeteilten Stromes gleich sein muß, so daß demnach die Gleichung gilt:

$$J = i_1 + i_2 \ldots (1).$$

Ferner ist klar, daß die Intensitäten der beiden Zweigströme sich umgekehrt verhalten müssen wie die Widerstände der betreffenden Leitungsdrähte, so daß demnach die Gleichung besteht:

$$i_1 : i_2 = \frac{1}{w_1} : \frac{1}{w_2} \ldots (2).$$

Setzt man ferner $\frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2} = U$, so folgt aus den obigen beiden Gleichungen:

$$i_1 : J = \frac{1}{w_1} : \frac{1}{U}$$

$$i_2 : J = \frac{1}{w_2} : \frac{1}{U},$$

daher ist endlich als Ausdruck des zweiten Kirchhoffschen Gesetzes:

$$i_1 = \frac{J\,U}{w_1} \ldots (3)$$

$$i_2 = \frac{J\,U}{w_2} \ldots (4).$$

Bezeichnet man den Widerstand, der in dem Hauptstromkreise der Leitung, d. i. in demjenigen Teile des Stromkreises herrscht, worin der Elektrogenerator eingeschaltet ist, mit W und berücksichtigt man, daß

$$U = \frac{w_1\, w_2}{w_1 + w_2} \ldots (5)$$

den Widerstand zwischen den Knotenpunkten a b (Fig. 10) und den eingeschalteten Zweigen darstellt, so daß also nach dem Ohmschen Gesetze

$$J = \frac{E}{U + W}$$

sein muß, so erhält man durch Einsetzen dieses Ausdruckes in die Gleichungen 3 und 4 sowie durch Substitution des Wertes von U aus der Gleichung 5 die beiden folgenden Gleichungen:

$$i_1 = \frac{E\,w_2}{W\,w_1 + W\,w_2 + w_1\,w_2} = \frac{E\,w_2}{W\,(w_1 + w_2) + w_1\,w_2}$$

$$i_2 = \frac{E\,w_1}{W\,w_1 + W\,w_2 + w_1\,w_2} = \frac{E\,w_1}{W\,(w_1 + w_2) + w_1\,w_2}$$

und setzt man endlich die Werte für i_1 und i_2 in die Gleichung 1 ein, so ergiebt sich:

$$J = \frac{E\,(w_1 + w_2)}{W\,(w_1 + w_2) + w_1\,w_2}.$$

Wenn alle Widerstände bekannt sind, so läßt sich mit Hülfe dieser Gleichungen sowohl die Intensität der Zweigströme als auch die Gesamtstromstärke J in der ungeteilten Stärke des Stromkreises berechnen und zwar liegt hier immer wieder das Ohmsche Gesetz zugrunde.

36. Wie bestimmt man die Stromstärke?

Zur Bestimmung der Stromstärke hat man die elektrolytische Wirkung des Stromes, d. h. dessen chemisch zersetzende Wirkung auf zusammengesetzte Flüssigkeiten in Anwendung gebracht, wobei sich die Teile der Flüssigkeit je nach ihrer Polarität an den darin eingetauchten Elektroden als positive und negative Bestandteile abscheiden. Diese Wirkung des Stromes wird Elektrolyse genannt. Jacobi hat mit Bezug auf diese elektrolytische Wirkung des Stromes vorgeschlagen, als Einheitsstrom denjenigen zu wählen, der in einem dazu geeigneten Apparate (Wasservoltameter) in der Minute einen kcm Knallgas — auf 0° Temperatur und 760 mm Barometerstand reduziert — zu entwickeln vermag.

37. Wie wird die Größe der Stromarbeit gemessen?

Diese Messung kann mittels Bestimmung der vom Strome entwickelten Wärme erfolgen. Von Joule und anderen Physikern ist mit Bezug hierauf nachgewiesen worden, daß die durch einen elektrischen Strom in der Zeiteinheit entwickelte Wärmemenge dem Quadrate der Stromstärke J und zugleich einer von der Beschaffenheit des Leiters abhängigen Größe d. i. von dem spezifischen Widerstande r des Leiters proportional ist. Mit Beibehaltung der Jacobischen Stromeinheit und der Siemensschen Widerstandseinheit findet man die vom Strome in der Sekunde entwickelte Wärmemenge Q mittels der Gleichung

$$Q = 0{,}00000207\,J^2\,r = c\,J^2\,r$$

in Kalorien. Diese Gleichung drückt das Joulesche Gesetz aus.

Die äquivalente Stromarbeit A in der Sekunde wird demnach mit Benutzung des mechanischen Wärmeäquivalents (1 Kalorie-äquivalent 424 Meterkilogramm) bestimmt durch die Gleichung:

$$A = 424\,Q = 0{,}000878\,J^2 r = c\,J^2 r.$$

38. Wie wird der Effekt (die Arbeitseinheit oder Arbeitsstärke) eines elektrischen Stromes bestimmt?

Bezeichnet man die Elektrizitätsmenge, welche in der Zeit t durch einen Querschnitt x des Stromkreises hindurchgeht, mit Q und die konstante Stromstärke (Stromintensität) mit J, so ist:

$$Q = J\,.\,t.$$

Ferner ist nach dem Ohmschen Gesetze die elektromotorische Kraft mit Bezug auf denselben Querschnitt x:

$$E = J\,.\,W,$$

wo W den Widerstand ebenfalls mit Bezug auf denselben Querschnitt x bezeichnet. Das Produkt Q . E gilt aber als Maß für die Stromarbeit A und daher hat man die bezügliche Gleichung:

$$A = W\,.\,J^2\,.\,t.$$

Ist der Strom einfach geschlossen, ohne daß derselbe zu irgend welchem Zwecke Verwendung findet und ohne daß derselbe folglich äußere Arbeit verrichtet, so setzt derselbe seine innere Arbeit in Wärme um und die in dem betreffenden Teile des Stromkreises in der Zeiteinheit entwickelte Wärme ist der Stromarbeit äquivalent, so daß also durch Messung dieser Wärme die Größe der Stromarbeit bestimmt werden kann.

Siebentes Kapitel.

Von der gegenseitigen Wirkung elektrischer Ströme.

39. Nach welchem Grundgesetze wirken die elektrischen Ströme auf einander?

Das von Ampère aufgestellte Grundgesetz von der gegenseitigen Wirkung elektrischer Ströme lautet:

Parallele Ströme ziehen einander an, wenn sie nach gleicher Richtung fließen, und stoßen einander ab, wenn ihre Richtungen entgegengesetzt sind.

40. Wie verhalten sich nichtparallele bewegliche Ströme gegen einander?

Zwei nichtparallele Ströme ziehen einander an, wenn beide Ströme gleichzeitig nach der Winkelspitze hin oder von derselben

fort fließen. Überkreuzen sich zwei bewegliche Ströme, so finden demnach die in Fig. 11 illustrierten Wirkungen statt.

Das Resultat dieser Wirkungen besteht darin, daß die vorausgesetztermaßen um rechtwinklig zu ihren Richtungen stehende Axen frei drehbaren Stromleiter eine solche Stellung annehmen, bei welcher die in ihnen fließenden Ströme parallel und gleich gerichtet sind.

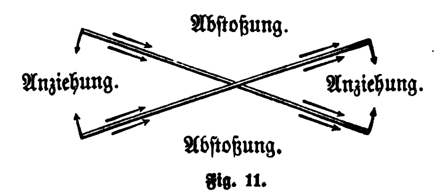


Fig. 11.

Aus denselben Gesetzen folgt auch, daß zwei hinter einander, in derselben Richtung fließende Ströme, sowie die verschiedenen Teile eines und desselben Stromes einander abstoßen, und ferner begründen sich hierauf auch die Rotationsbewegungen, welche zwischen passend angeordneten Leitern durch die gegenseitige Einwirkung ihrer Ströme hervorgebracht werden können.

41. Was versteht man unter einem Solenoid?

Ein Solenoid ist ein spiralig oder schraubenförmig gewundener Stromleiter, der eine Reihe von Kreisströmen bildet, die nahezu senkrecht zur Axe des schraubenförmigen Leiters stehen.

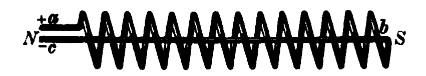


Fig. 12.

Denkt man sich einen Draht schraubenförmig gewunden, wie Fig. 12 zeigt, und innerhalb dieser Spirale den Draht geradlinig zurückgeführt, so hat man bei einem durch diesen Draht geleiteten elektrischen Strome eine dreifache Richtung zu unterscheiden. Tritt nämlich der Strom bei a in den Leiter ein, so geht derselbe wiederholt kreisförmig um den geraden Teil b c des Leiters herum, wodurch derselbe von a nach b fortschreitet und bei b anlangt; von da aus kehrt der Strom durch den geradlinigen Teil des Leiters

innerhalb der Spirale von b nach c zurück. Die Wirkung des Stromes in der Richtung von a nach b muß sich durch die Wirkung in der Richtung von b nach c kompensieren, so daß hiernach nur noch diejenige Wirkung des Stromes übrigbleibt, die ihm insofern zukommt, als derselbe sich kreisförmig um c b bewegt. Dasjenige Ende des Solenoids, wo sich für den dasselbe ansehenden Beobachter der die Spirale durchkreisende Strom gleich einem Uhrzeiger von links nach rechts bewegt, wird als der Südpol S, und das andere Ende, wo der Kreisstrom für den Beobachter die entgegengesetzte Richtung hat, wird der Nordpol N genannt. Nach Ampère kann man die Sache sich derartig verdeutlichen, daß ein auf einer Windung der Spirale ausgestreckter Mensch, der mit dem Gesicht nach der Axe der Spirale gekehrt und so liegt, daß der Strom in der Richtung von den Füßen zum Kopfe durchfließt, den Nordpol zur Linken und folglich den Südpol zur Rechten hat. Infolge dieser Polarität verhält sich ein Solenoid ganz ähnlich wie ein Magnet, und mit Bezug hierauf hat Ampère die Hypothese aufgestellt, daß der Magnetismus seine Ursache in elektrischen Kreisströmen habe.

Achtes Kapitel.

Vom Magnetismus und Elektromagnetismus.

42. Was verstehen wir unter Magnetismus?

Magnetismus ist eine durch Anziehung oder Abstoßung wirksame Kraft, welche sich besonders mit Bezug auf gewisse Substanzen, wie Eisen, Stahl, Nickel und Chrom, bemerkbar macht und welche dem gehärteten Stahle bleibend mitgeteilt werden kann. Natürlich kommt die Magnetkraft im sogenannten Meteoreisen vor und auch die Erde ist infolge ihrer magnetischen Wirkung als ein großer Magnet anzusehen.

43. Wie äußert sich der Magnetismus im allgemeinen?

Der Magnetismus äußert sich, ähnlich wie die Elektrizität durch eine doppelte Polarität, infolge deren Körper mit gleicher Polarität zwischen sich eine abstoßende Kraftwirkung, Körper mit ungleicher Polarität aber zwischen sich eine anziehende Kraftwirkung erkennen lassen. Jeder Magnet besitzt demnach zwei Pole, von denen der eine, der bei freier Aufhängung des Magneten infolge der magnetischen Erdwirkung sich nach Norden richtet, als Nordpol, der entgegen-

gesetzte aber als Südpol bezeichnet wird. Hierbei stellt der Magnet sich in der Meridianebene angenähert parallel zur Erdaxe. Ist der Magnet stabförmig gedacht, so zeigt er seine stärkste Kraftentfaltung an den Stabenden, d. i. an den Polen, während nach der Mitte hin die magnetische Kraft mehr und mehr abnimmt, bis sie im magnetischen Mittel selbst, im sogenannten Indifferenzpunkte, gleich null wird. Die wesentlichen Eigenschaften eines Magneten sind folgende:

1) Die magnetische Kraft äußert sich vorzugsweise an Eisen und Stahl; 2) sie wirkt durch neutrale Körper, d. h. solche Körper, die nicht selbst magnetisch werden können, ungestört hindurch; 3) die Stärke der magnetischen Anziehung und Abstoßung zweier Teilchen steht im umgekehrten Verhältnisse zum Quadrate der Entfernung; 4) durch Erwärmung wird die magnetische Kraft geschwächt und bei genügend hoher Temperatur gänzlich aufgehoben; 5) Eisen und Stahl werden unter der Einwirkung eines Magneten selbst magnetisch; 6) hört aber die Einwirkung des Magneten auf, so verliert das Eisen seine magnetische Kraft wieder um so rascher und vollständiger, je weicher und gleichmäßiger dasselbe in seiner Struktur ist, während der Stahl, besonders wenn derselbe eine gewisse Härtung besitzt, den Magnetismus beibehält und selbst einen Magneten bildet; 7) jeder Teil eines zerbrochenen Magnetstabes bildet für sich selbst einen vollständigen Magneten; 8) wenn die Kräfte zweier sich anziehenden Magnetpole gleichgroß, so stellt sich bei gehöriger Annäherung derselben ein magnetisches Gleichgewicht her, so daß nach außen hin von der magnetischen Wirkung nichts mehr zu spüren ist.

44. In welchem Zusammenhange steht die Elektrizität mit dem Magnetismus?

Ein galvanischer Strom wirkt gegenüber einem Magnete wie ein Magnet, indem er einen freihängenden Magnetstab, eine sogenannte Magnetnadel, aus ihrer Richtung ablenkt und in eine seiner eignen Richtung entsprechende Stellung bringt; ferner können aber auch durch den galvanischen Strom künstliche Magnete von besonderer Stärke der Kraftleistung hergestellt werden. Die zuerst erwähnte ablenkende Wirkung des galvanischen Stromes auf die Magnetnadel entdeckte der dänische Physiker Oersted ums Jahr 1800, während der französische Physiker Arago 1824 die zu zweit erwähnte Wirkungsweise des galvanischen Stromes erkannte. Auf Aragos

Entdeckung begründete der englische Physiker Sturgeon 1825 die Konstruktion der ersten Elektromagnete. Endlich aber entdeckte Faraday ums Jahr 1831, daß durch Magnetismus auch Elektrizität erregt werden könne, und somit kann man nicht nur von Elektromagnetismus, sondern auch von Magnetelektrizität reden.

45. Was versteht man unter einem permanenten oder remanenten Magnet und wie wird derselbe hergestellt?

Ein permanenter oder remanenter Magnet ist ein Magnet mit bleibendem Magnetismus, d. h. mit einem Magnetismus, welchen das Material des Magneten durch eigene Fähigkeit oder Koerzitivkraft in sich zurückhält. Ein solcher Magnet kann schon aus gehärtetem Eisen, am besten aber glashartem Stahle durch Behandlung mit bereits vorhandenen permanenten Magneten oder durch Induzierung mit dem galvanischen Strome hergestellt werden. Die Behandlung eines gehärteten Stahlstabes behufs Magnetisierung mit bereits vorhandenen Magneten kann in verschiedener Weise ausgeführt werden. Die eine Methode, der sogenannte einfache Strich, besteht darin, daß man den zu magnetisierenden Stab mit einer seiner größten Seitenflächen auf die entgegengesetzten Pole zweier Magnete auflegt und dann mit einem geeigneten Pole eines dritten Magneten in bestimmtem Sinne nach der Längsrichtung des Stabes und zwar sowohl auf der untern als auf der obern Seite hinstreicht. Bei der andern Methode, dem sogenannten Doppelstrich, setzt man zwei Magnete mit ihren entgegengesetzten Polen auf die Mitte des Stabes auf und streicht mit beiden gleichzeitig von der Mitte nach außen. Eine noch stärkere Magnetisierung erhält man, wenn man den zu magnetisierenden Stahlstab der Induktionswirkung einer vom galvanischen Strome durchlaufenen Drahtspirale aussetzt, indem man den Stab in die Spirale hineinsteckt. Die Pole entstehen an den Enden desjenigen Teiles des Stabes, der in der Spirale steckt; die Lage des Süd- und Nordpoles wird durch die Art der Umwindung und durch die Stromrichtung bedingt. Ist die Spirale rechtsgängig, d. h. sind bei vertikaler Axe die Windungen von rechts oben nach links unten geneigt, wie Fig. 13 illustriert, so entsteht der Nordpol an dem Stabende, wo der Strom austritt. Bei einer linksgängigen Spirale (Fig. 14) dagegen erscheint der Nordpol an dem Ende, wo der Strom eintritt.

Die Methode von Elias zur Herstellung sehr kräftiger Magnete wird folgendermaßen ausgeführt: Man wickelt 7—8 m Kupferdraht

von ungefähr 3 mm Dicke zu einem hohlen Cylinder zusammen, läßt den Strom eines großen Groveschen oder Bunsenschen Elementes (s. d.), dessen Widerstand gleich der Drahtspirale ist, hindurchgehen, steckt den zu magnetisierenden Stab in die Spirale hinein und schiebt letztere von einem Ende des Stabes zum andern nochmals auf und ab. Bei hufeisenförmigen Magneten führt man die Operation mit zwei Spiralen an beiden Schenkeln zugleich aus.

Bei jedem Magnete kann durch die Magnetisierung ein Maximalgrad des Magnetismus, d. i. eine vollkommene Sättigung mit Magnetismus, erreicht werden.

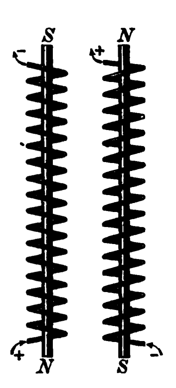


Fig. 13. Fig. 14.

Wenn man die Länge eines Stabes groß genug nimmt, so läßt sich immer erreichen, daß die Quantität Magnetismus, welche der Stab bei voller Sättigung aufnimmt, gleich der Maximalmenge wird, die überhaupt dem betreffenden Material und dem Härtegrade entspricht. Ist für eine gewisse Länge diese Grenze der Sättigung in einem Magnete gerade erreicht, so wird der Magnet nach Jamin ein metripolarer oder Grenzmagnet genannt; ist dagegen die Länge des Magnetstabes für die Grenze der Sättigung zu groß, so wird der Magnet ein megapolarer, ist die Länge zu klein, ein brachypolarer genannt. Mit Bezug hierauf hat Jamin Magnete aus vielen dünnen, einzeln magnetisierten Stahllamellen (metripolares Bündel) hergestellt, wobei je zwei Lamellen durch eine Zwischenlage von Papier getrennt sind, wodurch jeder Lamelle ihr ursprünglicher Magnetismus bewahrt bleibt und Magnete gebildet werden, welche ihr 15—20faches Eigengewicht zu tragen vermögen.

Die Tragkraft eines Magneten ist von dessen Massen abhängig und wird ausgedrückt durch die Formel $c\sqrt[3]{P^2}$, worin P das Gewicht und c ein konstanter Faktor ist.

Der Raum, innerhalb dessen die Wirkung, d. i. die Induktion eines Magneten, sich bemerkbar macht, wird das magnetische Feld genannt.

46. Was ist über den sogenannten Anker oder die Armatur eines Magneten zu bemerken?

Der Anker oder die Armatur ist ein Stück weiches Eisen, welches an die Pole eines Hufeisenmagneten angelegt wird, um die magnetische Kraft zusammenzuhalten. Ein solcher Anker soll nicht länger sein als nötig, dagegen soll derselbe einen ziemlich großen Umfang haben und eine geeignete Menge Eisen enthalten. Weil die Tragkraft eines Magneten der Kontaktfläche umgekehrt proportional ist, so benutzt man neuerdings cylindrische Anker anstatt der früheren prismatischen oder plattenförmigen. Steht der Anker im richtigen Verhältnis zum Magneten, so konserviert er dessen Kraft und kann dieselbe erfahrungsmäßig sogar noch verstärken, wenn man das Gewicht, womit man den Anker belastet, allmählich bis zu einer gewissen Grenze vergrößert. Ist man genötigt, den Anker von einem Magneten zu entfernen, so soll man denselben nicht senkrecht zur Kontaktstelle abreißen, sondern ihn längs der Kontaktfläche langsam abziehen. Außerdem darf ein Magnet nicht starken Stößen oder Erschütterungen und nicht beträchtlichen Temperaturveränderungen ausgesetzt werden, wenn derselbe ungeschwächt bleiben soll.



Fig. 15.

47. Wie wird der Magnetismus eines Körpers bestimmt?

Die Bestimmung und Messung des Magnetismus erfolgt durch das M a g n e t o m e t e r. Ein derartiger Apparat, welchen Fig. 15 illustriert, besteht aus einer Magnetnadel N, die unter einer Glasglocke, an einem Coconfaden F aufgehängt ist. Zur Herstellung eines Magnetometers kann man eine gewöhnliche mittelstarke Nähnadel benutzen, die man von der Spitze zum Öhr mehrmals über den Nordpol eines gewöhnlichen Magneten zieht. Hierdurch wird die Nadel magnetisiert, und wenn dieselbe in ihrem Schwerpunkte aufgehängt wird, so zeigt sie mit ihrer Spitze nach Norden. Unter

dieser Magnetnadel befindet sich ein in 360 Grade und deren Bruchteile eingeteilter Kreis. Zur Aufhängung der Nadel muß jedenfalls ein ungedrehter Seidenfaden benutzt werden. Mittels dieses Magnetometers läßt sich nicht nur entscheiden, ob ein Körper überhaupt magnetisch ist, sondern es lassen sich auch die Pole eines beliebigen Magneten unterscheiden und als Nord- oder Südpol erkennen.

48. In welcher Weise läßt sich das Magnetometer zum Nachweis der eigentümlichen Erscheinungen des Magnetismus benutzen?

Um zu zeigen, wie sich ein magnetisierungsfähiger, aber noch nicht magnetisierter Körper gegen einen Magnet verhält, stelle man den folgenden Versuch an: Man stelle das Magnetometer auf und lasse die Nadel zur Ruhe kommen, wobei dieselbe sich in die Ebene des dem Aufstellungsorte entsprechenden magnetischen Meridians einstellt und mit der Spitze N Fig. 16 nach dem Erdnordpol, mit dem Öhr S aber nach dem Erdsüdpol zeigt. Hierauf nehme man ein etwa 8 cm langes Stück weiches Eisen A (etwa gut ausgeglühten und unter der Asche langsam abgekühlten Eisendraht von 4—5 mm Stärke) und nähere dieses Eisenstück in horizontaler Lage rechtwinklig zur Nadelrichtung mit dem einen Ende dem Nordpole der Nadel.

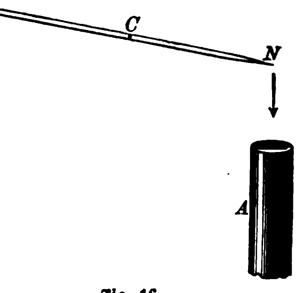


Fig. 16.

Bei einer gewissen Entfernung des Eisenstückes von der Nadel wird man bemerken, daß die letztere ihre ursprüngliche, vom Erdmagnetismus bedingte Lage ändert und mit ihrem Nordpole N sich dem Eisenstücke nähert, indem sie sich um ihren Aufhängepunkt (Schwerpunkt) C in der Pfeilrichtung dreht. Zieht man alsdann das Eisenstück A langsam und stetig hinweg, so dreht sich die Nadel um ihren Aufhängungspunkt C zurück und stellt sich wiederum in den magnetischen Meridian ein. Hierauf nähere man das Eisenstück dem andern Nadelende, d. i. dem Südpole der Magnetnadel, und man wird bemerken, daß dieses Ende sich in ganz derselben Weise wie das vorher zum Versuch gewählte Nordpolende dem Eisen nähert,

wie Fig. 17 illustriert. Man ersieht hieraus, daß ein Stück weiches, d. h. unmagnetisches Eisen auf beide Enden der Magnetnadel denselben Einfluß ausübt, indem beide Nadelenden nach dem Eisen hingezogen werden. Hieraus folgt notwendigerweise, daß bei einer

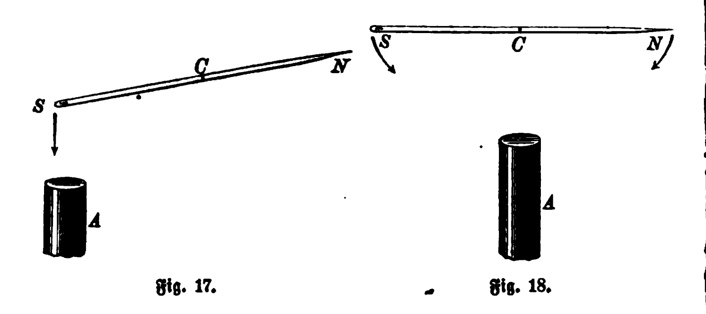


Fig. 17. Fig. 18.

Annäherung des Eisenstückes A gegen die Mitte der Magnetnadel (Fig. 18) deren Stellung nicht verändert wird, indem in diesem Falle die Einwirkung des Eisenstückes auf beide Enden genau dieselbe ist.

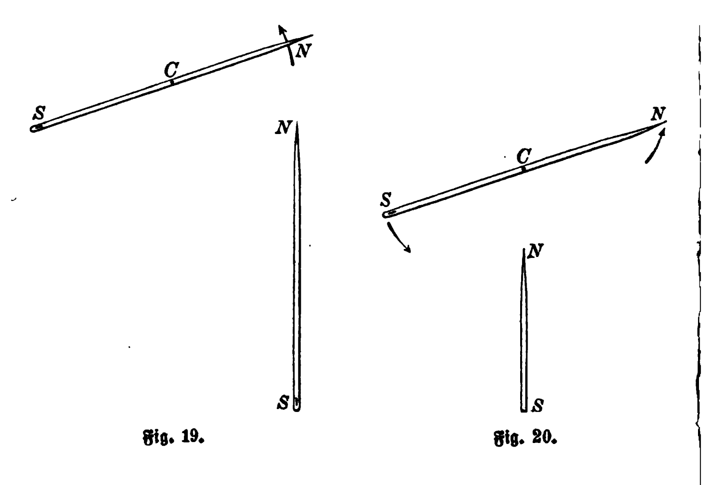


Fig. 19. Fig. 20.

Man kann hierauf ähnliche Versuche in der Weise anstellen, daß man anstatt des unmagnetischen Eisenstückes einen magnetischen Körper, z. B. eine magnetisierte Nähnadel, als Magnetstäbchen benutzt. Nähert man das Nordpolende dieses Magnetstäbchens dem Nordpolende der Magnetometernadel, so weicht dieses nunmehr unter dem Einflusse des gleichnamigen Poles zurück, wie Fig. 19 illustriert. Genau dasselbe wird geschehen, wenn man den Südpol des Magnetstäbchens dem Südpolende der Magnetometernadel nähert. Satz: Gleichnamige Pole stoßen sich ab und aus dieser Eigenschaft der Abstoßung oder Repulsion gleichnamiger Magnetpole folgt sofort durch bloßen Vernunftschluß, aber durch den Versuch auch nachweisbar die zweite Eigenschaft des Magnetismus: Ungleichnamige Pole ziehen sich an.

Beide Eigenschaften lassen sich gleichzeitig durch einen Versuch nachweisen, wenn man das eine Polende des Magnetstäbchens der Mitte der Magnetometernadel nähert; in diesem Falle wird der gleichnamige Pol der freischwingenden Nadel sich entfernen und der ungleichnamige Pol der Nadel sich dem Magnetstäbchen nähern. Fig. 20 illustriert diese Erscheinung für den Fall, daß man den N-Pol (Nordpol) des Magnetstäbchens gegen die Mitte der Magnetometernadel bewegt.

49. Welche anderen einfachen Versuche lassen sich noch zum Studium der charakteristischen Eigenschaften des Magnetismus anstellen?

Sehr interessante Versuche über das Wesen des Magnetismus lassen sich mit Benutzung von Eisenfeilspänen anstellen, wobei man am besten recht feine Feilspäne von weichem Eisen wählt, welche wohl den Magnetismus sehr gut fortzupflanzen (zu transmittieren) vermögen, aber keine oder doch nur sehr wenig Neigung haben), denselben zurückzuhalten oder — wie man auch sagt — kein Retentionsvermögen für Magnetismus besitzen. Streut man solche Eisenfeilspäne auf ein Blatt Papier und wälzt einen runden Magnetstab darin, der aus einer kleinen Rundfeile (Rattenschwanzfeile) bestehen kann, so hängen sich die Eisenfeilspäne in der durch Fig. 21 S. 54 illustrierten Weise an den Magnetstab an. Man ersieht daraus, daß der Magnetismus an den Enden eines stabförmigen Magnets am stärksten ist, indem hier die Feilspäne durch die Mitteilung (oder Erweckung d. i. durch Induktion) der magnetischen Kraft in ihrer eigenen Masse sich haarförmig aneinanderhä

Diese haarartigen Bildungen werden aber nach der Mitte des Magnetstabes hin immer kürzer und die Mitte selbst bleibt ganz von den Feilspänen frei, ein Beweis dafür, daß sich hier die ent-



Fig. 21.

gegengesetzten magnetischen Kräfte neutralisieren oder einander aufheben. Man nennt einen solchen nicht mit magnetischer Anziehung begabten Punkt eines Magnets den „Neutralpunkt“. Manche Magnetstäbe zeigen mehrere solcher Neutralpunkte und folglich auch in ihrer Länge eine Reihenfolge von Polwechseln, als wären sie aus einer Reihenfolge von Magnetstäben gebildet, die immer mit gleichnamigen Polen aneinanderstoßen.

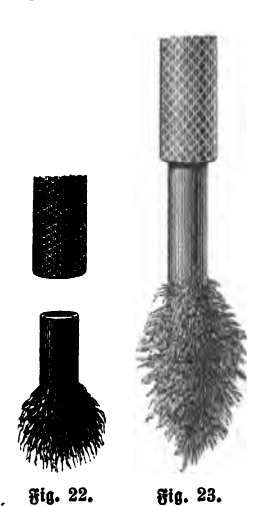


Fig. 22. Fig. 23.

Taucht man ein Stück weiches, also nicht magnetisches Eisen in Eisenfeilspäne, so hängen dieselben sich nicht daran. Stellt man aber das weiche Eisenstückchen in die Späne und hält den Magnetstab (Fig. 22) in einiger Entfernung darüber, worauf man letztern samt dem Eisenstückchen in gleichbleibender Entfernung emporhebt, so wird die Eisenfeile büschelförmig am Eisen hängen bleiben, sofort aber gänzlich, oder mindestens zum allergrößten Teil davon abfallen, wenn man das Eisenstückchen aus dem Bereiche des Magnetstabes — oder mit anderen Worten: aus dessen magnetischem Felde — entfernt. Wenn man das weiche Eisen-

stückchen mit dem Magnetstabe in Berührung bringt, so ist die magnetische Induktion am stärksten, wie Fig. 23 im Vergleich zu Fig. 22 illustriert.

50. Was versteht man unter dem Ausdrucke: magnetische Kraftkurven oder Induktionskurven?

Die magnetischen Kraft- oder Induktionskurven sind eigentümlich gekrümmte, sich vielfach durchkreuzende Linien im magnetischen Felde, welche dadurch sichtbar gemacht werden können, daß man auf ein Blatt Carton oder auf eine Glasplatte Eisenfeilspäne streut, einen Magnet darunter bringt und durch leichtes Klopfen die Feilspäne der freien Anordnung durch die magnetische Kraft zugängig macht. Fig. 24 zeigt diese von Faraday zuerst entdeckten Induktionskurven, wie dieselben in der angedeuteten Weise unter dem

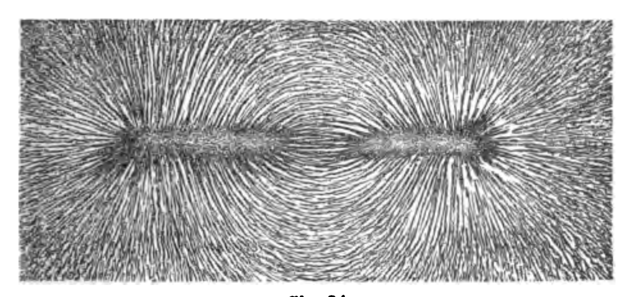


Fig. 24.

Einflusse eines parallel unter der Bildfläche liegenden Magnetstabes oder auch eines senkrecht mit beiden Polen unter die Bildfläche gehaltnen Hufeisenmagneten zum Vorschein gebracht werden, während Fig. 25 S. 56 die Erscheinung dieser Kurven illustriert, wenn man einen runden Magnetstab senkrecht mit dem einen seiner Pole unter die Bildfläche hält. Wenn man anstatt des Endes eines Magnetstabes den Kreisstrom einer galvanischen Batterie mittels des senkrecht durch die Bildfläche gesteckten, von einem Pole der Batterie zum andern geführten Leitungsdrahtes zur Anwendung bringt, so entstehen anstatt der radial strahlenförmigen magnetischen Induktionskurven konzentrisch kreisförmige, um den Leitungsdraht des elektrischen Stromes angeordnete Linien, welche Fig. 26 S. 57 illustriert.

Eine sehr instruktive Darstellung der magnetischen Kraftlinien zeigt endlich noch Fig. 27 S. 58. Hier sind A und B zwei starke Magnetstäbe, welche mit ihren ungleichnamigen Polen gegen einander, etwa in 8 cm Distanz, gelegt sind und zwischen welche eine kleine auf einer Spitze balancierende Magnetnadel bei D gebracht ist, so daß dieselbe sich frei gegen die Magnete einstellen, d. h. ihre ungleichnamigen Pole gegen deren Pole richten kann. Wird diese Nadel in der zur Richtung der Magnete senkrechten Mittel-

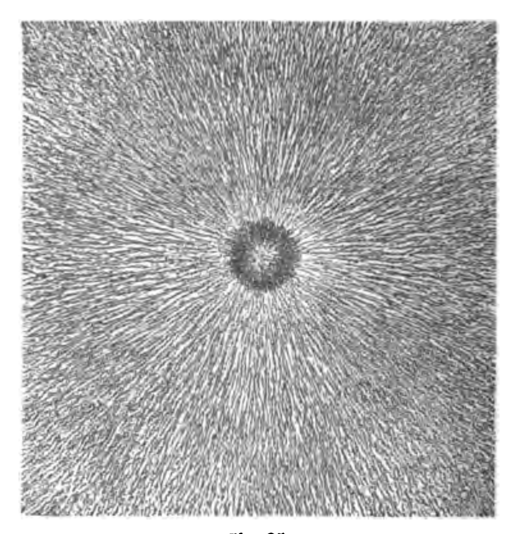


Fig. 25.

linie in eine größere Distanz, z. B. bis F, verschoben, so dreht dieselbe sich um, wie dies die bezüglichen Pfeilrichtungen illustrieren. Bei dieser Verschiebung der Nadel kann man auch noch bemerken, daß die Wirkung der Magnete auf dieselbe immer schwächer wird, indem die Nadel immer langsamer oscilliert, bis sie endlich die entgegengesetzte Lage annimmt; bei der Rückwärtsverschiebung nach D treten die umgekehrten Erscheinungen ein. In einem gewissen Punkte, z. B. bei E, zeigt die Nadel bezüglich der Magnete A und B gar keine Polarität mehr, obschon derselbe sich noch im Wirkungs-

bereiche d. i. im magnetischen Felde dieser Magnete befindet; an dieser Stelle kann daher die Nadel in jeder beliebigen Richtung stehen bleiben. Verschiebt man die Nadel über E hinaus, so erlangt sie wiederum ihre Polarität, aber in entgegengesetzter Richtung, denn sie stellt sich von selbst wieder parallel zur Richtung von AB, aber ihr Nordpol ist nach dem Nordpole und ihr Südpol nach dem Südpole dieser Magnete gerichtet. Aus diesem Benehmen der Magnetnadel ergiebt sich das Vorhandensein der in Fig. 27 S. 58 dargestellten Linien



Fig. 26.

der magnetischen Kraft, wobei vorausgesetzt ist, daß beide Magnete A und B gleich stark sind. Sind NHM und NEL zwei zu A gehörige Kraftlinien, so würde sich die Nadel, wenn nur eine dieser Kraftkurven vorhanden wäre, in deren Tangente einstellen; bei dem Vorhandensein mehrerer solcher Kraftkurven wird die Nadel von sämtlichen gleichzeitig beansprucht und nimmt eine der Resultante sämtlicher Kraftwirkungen entsprechende Stellung ein. Gehen nun vom Magnet B zwei ganz ähnliche Kraftkurven SGK und SEQ aus, so durchschneiden sich die Kurven NHM und SGK in C

und F, während die Kurven NEL und SEQ sich in E berühren. Infolge des Vorhandenseins vieler solcher magnetischer Kraftkurven und ihrer Durchkreuzungen und Berührungen ergeben sich die angedeuteten Erscheinungen in den Einstellungen der Magnetnadel.

Auch unter der Einwirkung der elektrischen Ströme kann man diese interessanten, für die Erkenntnis des Wesens der magnetischen und elektrischen Kraftwirkungen höchst wichtigen Induktionskurven in ähnlicher Weise beobachten.

51. Was ist über die Magnetnadel zu bemerken?

Die Magnetnadel, insofern dieselbe als Kompaß benutzt wird, dient zur Bestimmung der Himmelsgegenden in Ermangelung

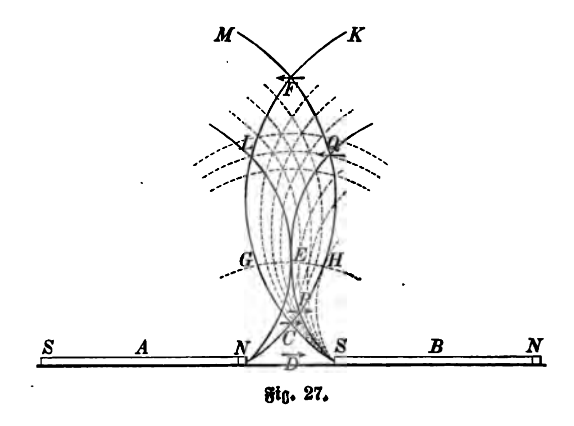


Fig. 27.

anderer Hülfsmittel, auf den Gebieten der Physik und Elektrotechnik wird dieselbe aber als „Magnetometer" zur Bestimmung und Messung der magnetischen Kraftwirkungen und als „Galvanometer" (auch Bussole) zur Bestimmung und Messung der elektrischen Ströme benutzt. Das Magnetometer, wovon bereits auf S. 50 vorläufig die Rede war, wird zur Ausführung magnetischer Untersuchungen zuweilen nach dem Prinzip der Coulombschen Drehwage konstruiert und benutzt (vergl. Katechismus der Physik. 3. Aufl. S. 39), eine andere, ebenfalls von Coulomb herrührende Methode besteht darin, daß man eine kleine Magnetnadel zuerst unter dem Einflusse des Erdmagnetismus schwingen läßt und ihre Schwingungsdauer

beobachtet, dann derselben einen im magnetischen Meridian der Nadel vertikal gehaltnen Magnet in der Weise nähert, daß nach und nach sämtliche Querschnitte des Magnets mit der Nadel in eine Ebene zu liegen kommen, und für jeden Fall wiederum die Schwingungsdauer beobachtet. Zu ähnlichen Versuchen wird aber auch das Galvanometer benutzt, bei dessen Konstruktion kompensierte und astatische Nadeln angewendet werden.

52. Was versteht man unter einer kompensierten und was unter einer astatischen Magnetnadel?

Besonders zur Messung schwacher elektrischer Ströme sind sehr empfindliche Galvanometer oder Bussolen zu benutzen; um diese herzustellen ist dafür zu sorgen, daß die Nadel ein kleines Trägheitsmoment hat und möglichst leicht beweglich ist. Zu dem Zwecke ist nicht nur die Nadel auf einer recht feinen Stahlspitze mittels eines Steinhütchens, oder noch besser mittels eines leichten Bügels an einem ungedrehten Seidenfaden aufzuhängen, sondern es ist auch noch dafür zu sorgen, daß das vom Erdmagnetismus auf die Nadel ausgeübte Drehungsmoment in geeigneter Weise verkleinert, d. i. die Wirkung des Erdmagnetismus auf die Nadel bis auf einen gewissen Grad abgeschwächt wird. Um dies zu erreichen, bringt man über oder unter der Nadel einen geraden permanenten Magnet in der Weise an, daß die Axen des Magnets und der Nadel in einer Vertikalebene und die gleichnamigen Pole auf einer Seite liegen. Bei dieser Einrichtung ist die Richtungskraft, mit welcher der Magnet auf die Nadel wirkt, der Richtungskraft des Erdmagnetismus entgegengesetzt, und je nach seinem Abstande von der Nadel wird die letztere Wirkung mehr oder minder abgeschwächt; sie kann aber auch selbst auf null gebracht oder sogar die Richtungskraft des Magnets größer als die Richtungskraft des Erdmagnetismus gemacht werden. Jedenfalls hat man es bei dieser Einrichtung des Galvanometers in der Gewalt, die Magnetnadel dem Einfluß des Erdmagnetismus mehr oder minder oder auch gänzlich zu entziehen und somit die Empfindlichkeit des Instruments beliebig zu regulieren. Eine derartige Bussole wird als ein Galvanometer mit kompensierter Nadel bezeichnet.

Bringt man zwei gleich große und dicke, aus gleichem Stahle gefertigte, gleich gehärtete und gleich stark magnetisierte Magnetnadeln ziemlich dicht übereinander mit entgegengesetzt gerichteten Polen an, so erhält man eine vollkommen astatische Nadel, d. h. eine

Magnetnadel, welche der Wirkung des Erdmagnetismus gänzlich entzogen ist, indem die eine Nadel den Magnetismus der andern und folglich auch die Wirkung des Erdmagnetismus aufhebt. Entweder ist nur die eine (und zwar die untere) der beiden Nadeln von einem mit Draht umwickelten Rahmen (d. i. mit einer Induktionsspirale) umgeben, oder beide Nadeln liegen je in einem solchen Rahmen, deren Drahtwindungen alsdann entgegengesetzt gerichtet sind. Eine derartige Bussole ist alsdann um so vorzüglicher, je mehr sich das Nadelsystem der vollkommenen Astasie nähert; diese vollkommene Astasie herzustellen ist aber aus verschiedenen Gründen kaum möglich. Um die Mängel der astatischen Nadeln zu beseitigen hat Ferrini sogenannte tripolare Nadeln, d. h. Magnetnadeln angewendet, welche an den Enden gleichnamige Pole und in der Mitte den entgegengesetzten Pol besitzen. Eine solche Nadel wird dadurch hergestellt, daß man von ihrer Mitte aus sie nach beiden Enden hin mit entgegengesetzten Drahtwindungen umgiebt, durch welche ein elektrischer Strom hindurchgeleitet wird. Bei der Besprechung der elektrischen Ströme werden wir noch einige andere derartige Apparate und deren Anwendung beschreiben.

53. Wie wird ein Elektromagnet hergestellt?

Ein Elektromagnet wird dadurch hergestellt, daß man um einen geraden oder gewöhnlich hufeisenförmig gebogenen weichen Eisenkern einen gut isolierten Kupferdraht mehrfach spiralförmig herumwindet und durch denselben einen elektrischen Strom leitet. Ein Elektromagnet besteht also an sich aus zwei Teilen, dem „Kern“ und der „Magnetisierungsspirale“; als dritter Teil, ohne welchen der Magnet nicht zur Wirkung kommen kann, gehört aber noch dazu der „Anker“, welcher letztere ebenfalls aus einem Stück weichen Eisens besteht, das vom magnetisch gemachten Kerne angezogen wird.

Die Polarität eines Elektromagnets hängt von der Richtung der seinen Kern umgebenden Drahtspirale, d. i. von der Richtung des ihn umkreisenden und seinen Magnetismus induzierenden elektrischen Stromes ab, wie schon auf S. 46 angedeutet wurde.

Bezüglich des Ausdruckes „Stromrichtung“ ist durch allgemeine Annahme festgestellt worden, daß damit die Richtung des positiven Stromes, d. h. desjenigen Stromes gemeint ist, der vom Kupfer- oder vom Kohlenelemente einer elektrischen Batterie ausgeht. Fig. 28 zeigt eine rechtsgewundene oder dextrorsale und Fig. 29 eine linksgewundene oder sinistrorsale isolierte Drahtspirale

mit dem darin befindlichen magnetisierten Eisenkern, woraus die Lage von deren Polen (N = Nordpol und S = Südpol) in ihrer

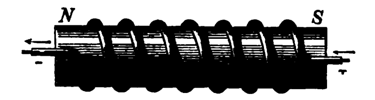


Fig. 28.

Abhängigkeit von der Windungsrichtung der Induktionsspiralen ersichtlich ist. Fig. 30 zeigt einen aus drei Stücken hergestellten Elektromagnet, welche Form anstatt des gebogenen Hufeisenmagnets

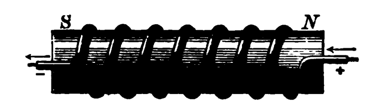


Fig. 29.

besonders bei telegraphischen Apparaten u. s. w. vorkommt. Es sind hierbei zwei gerade cylindrische Eisenkerne A und B durch ein flaches viereckiges Querstück mittels Schrauben verbunden (in der Abbildung ist dieses Querstück getrennt dargestellt). Beide Kerne sind hierbei wie der Stab in Fig. 29 linksgängig umwunden und der bei B in die Spirale eintretende Strom erzeugt den Nordpol am äußern (untern) Ende des Schenkels B und den Südpol am entsprechenden Ende des Schenkels A. Dasselbe Resultat, d. h. dieselbe Lage der Pole würde erhalten, wenn der Draht in rechtsgängigen Windungen (wie in Fig. 28)

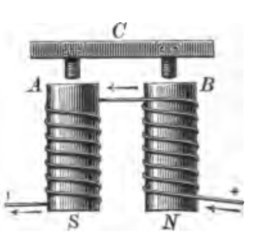


Fig. 30.

von oben nach unten um den Schenkel B und von unten nach oben um den Schenkel A gewunden worden wäre. In der Praxis wird jedoch die erstere Methode der Umwindung benutzt.

Fig. 31 S. 62 stellt einen hufeisenförmigen, aus einem Stück weichen Rundeisens gebogenen Elektromagnet dar. Der Draht ist auf

Holzrollen aufgewunden, welche alsbann auf die Schenkel des Magnets aufgesteckt sind.

Um die besten Resultate zu erhalten, müssen Durchmesser und Länge des zu den Induktionsspiralen verwendeten und mit Seide übersponnenen Kupferdrahtes den Umständen, unter denen der Elektromagnet Verwendung finden soll, angepaßt sein. So z. B. ist für eine kurze Leitung und eine geringen Widerstand bietende Batterie ein dicker kurzer Draht zu benutzen; ist dagegen die Stromleitung lang, wie dies ja in der Regel bei elektrischen Telegraphen der Fall ist, und ist ein beträchtlicher Widerstand vorhanden, so muß der Draht dünn und länger sein, um den Widerstand des Magnets gleich dem Widerstande in den übrigen Teilen der Leitung zu machen.

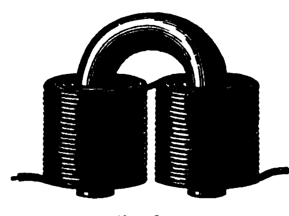


Fig. 31.

Bei der Umwindung der für telegraphische Zwecke benutzten Elektromagnete hat man gefunden, daß die Entfernung des Eisenkernes vom äußern Umfange der Drahtrollen 12 mm nicht übersteigen soll, weil bei größerer Entfernung die Wirkung der Induktionsspiralen auf den Eisenkern rasch abnimmt.

Im allgemeinen muß man bei der Herstellung der Elektromagnete dafür sorgen, daß man mit der zu verwendenden Stromstärke ein möglichst intensives Magnetfeld erhält, und ist der Anker stets an der Stelle anzubringen, wo die größte Intensität herrscht.

Bei schwachem Strom thut man gut, vorher durch einen Versuch festzustellen, bis zu welcher Tiefe im Kern noch eine merkliche Magnetisierung erregt wird, wonach man die Schenkel röhrenförmig und von einer Wandstärke herstellt, welche jene Teile nur wenig übertrifft. Die Durchmesser dieser Röhren sollen gleich dem vierfachen dieser Wandstärke und die Schenkellängen gleich dem sechsfachen Durchmesser sein. Damit ein solcher mit hohlen Schenkeln hergestellter Elektromagnet den Magnetismus möglichst rasch aufnimmt und abgiebt, werden die Rohrschenkel der Länge nach gespaltet.

54. Unter welchen Umständen liefert eine Induktionsspirale das Maximum der magnetisierenden Kraftwirkung?

Da der Magnetismus, welchen eine Induktionsspirale in einem Elektromagnet hervorbringt, proportional ist zur Stromstärke und

zur Zahl der Drahtumwindungen (vorausgesetzt, daß die Entfernung zwischen Draht und Kern eine gewisse Grenze nicht überschreitet, wie vorher bemerkt wurde), so läßt sich bei Kenntnis der Stromstärke und des Widerstandes die magnetische Maximalkraft berechnen. Es sei z. B. der Widerstand eines in einer einzigen Umwindung um den Kern gelegten Drahtes, welcher aber die ganze, für die Umwindung bestimmte Länge des Kernes umfaßt, gleich u. Wird dieser Draht in der Länge in zwei Hälften zerspalten und werden beide Hälften mit den Enden verbunden, so daß derselbe anstatt einer Umwindung zwei Umwindungen herstellen läßt, so ist nunmehr der Querschnitt des Drahtes nur noch halb so groß wie vorher, seine Länge aber verdoppelt. Da nun der elektrische Widerstand eines Leitungsdrahtes direkt proportional zu dessen Länge ist und umgekehrt proportional zu dessen Querschnitt, so ist nunmehr der Widerstand dieses Drahtes gleich 4 u, d. i. viermal so groß als vorher. Verwendet man in derselben Weise den Originaldraht zu n Windungen anstatt zu zwei, so gilt alsdann für den Gesamtwiderstand r der Drahtspule die Gleichung:

$$r = n^2 u.$$

Bezeichnet nun E die elektromotorische Kraft der Batterie, W den Widerstand in derselben und im Leitungsdrahte, also den außerhalb der Drahtspule herrschenden Gesamtwiderstand, so gilt nach Ohms Gesetz für die Stromstärke die Gleichung:

$$J = \frac{E}{W + n^2 u},$$

folglich ist die magnetische Kraft

$$M = n J = \frac{n E}{W + n^2 u}.$$

Durch Veränderung des Wertes n, d. h. durch Vermehrung oder Verminderung der Drahtwindungen, oder — was dasselbe ist — durch Vergrößerung oder Verkleinerung der umgewundenen Drahtlänge wird auch die magnetische Kraft des Elektromagnets verändert und M erreicht seinen größten Wert, wenn der Nenner des obigen Bruches den kleinsten Wert annimmt; dies ist aus theoretischen Gründen der Fall, wenn in der vorhergehenden Gleichung ist

$$W = n^2 u$$

oder

$$W = r.$$

Die magnetisierenden Drahtspiralen eines Elektromagnets wirken daher am kräftigsten, wenn ihr Widerstand (r) gleich ist dem

Gesamtwiderstande (W) des außerhalb der Spiralen oder Spulen befindlichen Stromkreises.

Wenn man mit l, q und s respective die Länge, die Querschnittsfläche und den spezifischen Widerstand des Drahtes bezeichnet, welcher den Eisenkern umgiebt, dann wird der Widerstand r der Spirale ausgedrückt durch die Gleichung:

$$r = \frac{l\,s}{q}.$$

Daher ist die Wirkung der Spirale ein Maximum, wenn

$$u = \frac{l\,s}{q}.$$

Da nun für die Umwindung der Elektromagnete und überhaupt für elektrische Zwecke nur Kupferdraht verwendet, dessen spezifischer Widerstand als Einheit angenommen wird, so daß für denselben $s = 1$ ist, so ist das Maximum der magnetischen Intensität unter dieser Voraussetzung

$$u = \frac{l}{q}.$$

Zieht man ferner in Betracht, daß der Durchmesser einer Spirale eine gewisse Grenze nicht überschreiten darf, damit ihre magnetisierende Wirkung möglichst vollständig ausgenutzt wird, so führt die letzte Gleichung zu den folgenden Schlußfolgerungen:

1) Wenn der Widerstand W außerhalb der Drahtspirale sehr groß ist, so muß das Verhältnis $l : q$ auch sehr groß sein, woraus folgt, daß man einen Draht von großer Länge und kleinem Querschnitt, d. i. einen recht langen dünnen Draht verwenden muß.

2) Wenn der Widerstand W außerhalb der Spirale gering ist, so muß das Verhältnis $l : q$ klein sein und in diesem Falle ist ein kurzer dicker Draht anzuwenden.

Drähte der erstern Art sind für die Elektromagnete der langen Telegraphenverbindungen oder bei der Konstruktion von Elektromotoren, die mit starker Spannung, d. h. mit großem innern Widerstande zu arbeiten haben, anzuwenden. Drähte der letztern Art sind dagegen zu benutzen, wo der innere Widerstand des Elektromotors ein geringer ist.

55. Welche Größe der Kraftwirkung kann überhaupt von einem Elektromagnete erhalten werden?

Versuche haben gezeigt, daß ein bestimmtes Stück weichen Eisens nur eines gewissen Grades, d. i. eines Maximums der Magnetisation

fähig ist; aber dieser Maximalgrad der Magnetisation ist über fünfmal stärker, als derjenige eines gleich schweren Stückes gehärteten Stahles. Die Anziehungskraft, die ein Elektromagnet auf seine Armatur ausüben kann, ist proportional dem Durchmesser seines Kernes und der Quadratwurzel der Länge.

Die Maximalkraft eines elektromagnetischen Systems, bestehend aus Drahtspirale, Kern und Armatur (Anker), kann dann entwickelt werden, wenn die Dimensionen der beiden letztgenannten Elemente (Kern und Armatur) mit Bezug auf Länge und Oberfläche gleich sind. Kommt es aber hauptsächlich auf schnelle Bewegung an, so muß die Masse der Armatur möglichst klein sein. Handelt es sich nur um starke Anziehungskraft, so soll die Armatur stets ein wenig breiter als die auf dieselbe wirkenden Pole sein und ebenso soll deren Länge in etwas die größte Distanz der Polenden des Magnets übertreffen; die Dicke der Armatur hat sich nach der Kraft des Magnets zu richten.



Fig. 32.

56. Welche besondere Formen von Elektromagneten sind noch erwähnenswert?

Bonellis Elektromagnet (Fig. 32) besteht aus einer hölzernen, mit Draht umwundenen Spule, in welche der eiserne cylindrische Kern A so hineingesteckt ist, daß derselbe mit dem zur Wirkung bestimmten Ende sich noch um eine gewisse Distanz innerhalb der Spule befindet und demnach die von diesem Pole angezogene Armatur B in die Spule hineintreten muß. Durch diese Anordnung wird eine kräftigere Anordnung zwischen beiden Teilen herbeigeführt.



Fig. 33.

Maronis Elektromagnet (Fig. 33), welcher für das italienische Morse-Instrument adoptiert worden ist, besteht aus einem durch die Drahtspule gesteckten dünnen Eisenstabe, an dessen Enden kurze starke cylindrische Armaturstücke angeschraubt sind, welche als Magnetpole dienen.

Gesamtwiderstande (W) des außerhalb der Spiralen oder Spulen befindlichen Stromkreises.

Wenn man mit l, q und s respective die Länge, die Querschnittsfläche und den spezifischen Widerstand des Drahtes bezeichnet, welcher den Eisenkern umgiebt, dann wird der Widerstand r der Spirale ausgedrückt durch die Gleichung:

$$r = \frac{l\,s}{q}.$$

Daher ist die Wirkung der Spirale ein Maximum, wenn

$$u = \frac{l\,s}{q}.$$

Da nun für die Umwindung der Elektromagnete und überhaupt für elektrische Zwecke nur Kupferdraht verwendet, dessen spezifischer Widerstand als Einheit angenommen wird, so daß für denselben s = 1 ist, so ist das Maximum der magnetischen Intensität unter dieser Voraussetzung

$$u = \frac{l}{q}.$$

Zieht man ferner in Betracht, daß der Durchmesser einer Spirale eine gewisse Grenze nicht überschreiten darf, damit ihre magnetisierende Wirkung möglichst vollständig ausgenutzt wird, so führt die letzte Gleichung zu den folgenden Schlußfolgerungen:

1) Wenn der Widerstand W außerhalb der Drahtspirale sehr groß ist, so muß das Verhältnis l : q auch sehr groß sein, woraus folgt, daß man einen Draht von großer Länge und kleinem Querschnitt, d. i. einen recht langen dünnen Draht verwenden muß.

2) Wenn der Widerstand W außerhalb der Spirale gering ist, so muß das Verhältnis l : q klein sein und in diesem Falle ist ein kurzer dicker Draht anzuwenden.

Drähte der erstern Art sind für die Elektromagnete der langen Telegraphenverbindungen oder bei der Konstruktion von Elektromotoren, die mit starker Spannung, d. h. mit großem innern Widerstande zu arbeiten haben, anzuwenden. Drähte der letztern Art sind dagegen zu benutzen, wo der innere Widerstand des Elektromotors ein geringer ist.

55. Welche Größe der Kraftwirkung kann überhaupt von einem Elektromagnete erhalten werden?

Versuche haben gezeigt, daß ein bestimmtes Stück weichen Eisens nur eines gewissen Grades, d. i. eines Maximums der Magnetisation

fähig ist; aber dieser Maximalgrad der Magnetisation ist über fünfmal stärker, als derjenige eines gleich schweren Stückes gehärteten Stahles. Die Anziehungskraft, die ein Elektromagnet auf seine Armatur ausüben kann, ist proportional dem Durchmesser seines Kernes und der Quadratwurzel der Länge.

Die Maximalkraft eines elektromagnetischen Systems, bestehend aus Drahtspirale, Kern und Armatur (Anker), kann dann entwickelt werden, wenn die Dimensionen der beiden letztgenannten Elemente (Kern und Armatur) mit Bezug auf Länge und Oberfläche gleich sind. Kommt es aber hauptsächlich auf schnelle Bewegung an, so muß die Masse der Armatur möglichst klein sein. Handelt es sich nur um starke Anziehungskraft, so soll die Armatur stets ein wenig breiter als die auf dieselbe wirkenden Pole sein und ebenso soll deren Länge in etwas die größte Distanz der Polenden des Magnets übertreffen; die Dicke der Armatur hat sich nach der Kraft des Magnets zu richten.



Fig. 32.

56. Welche besondere Formen von Elektromagneten sind noch erwähnenswert?

Bonellis Elektromagnet (Fig. 32) besteht aus einer hölzernen, mit Draht umwundenen Spule, in welche der eiserne cylindrische Kern A so hineingesteckt ist, daß derselbe mit dem zur Wirkung bestimmten Ende sich noch um eine gewisse Distanz innerhalb der Spule befindet und demnach die von diesem Pole angezogene Armatur B in die Spule hineintreten muß. Durch diese Anordnung wird eine kräftigere Anordnung zwischen beiden Teilen herbeigeführt.



Fig. 33.

Maronis Elektromagnet (Fig. 33), welcher für das italienische Morse-Instrument adoptiert worden ist, besteht aus einem durch die Drahtspule gesteckten dünnen Eisenstabe, an dessen Enden kurze starke cylindrische Armaturstücke angeschraubt sind, welche als Magnetpole dienen.

Clarkes Elektromagnet (Fig. 34) hat in der Anordnung seiner Kerne die für magnetelektrische Instrumente gewöhnliche Form, ist aber in eigentümlicher Weise mit Draht umwunden, indem die Drahtrollen nach beiden Enden der Kerne konisch verlaufen und in der Mitte den größten Durchmesser haben. Es wird dadurch für besondere Zwecke in der Mitte der Kerne eine stärkere Induktionswirkung erreicht, als an den Enden.

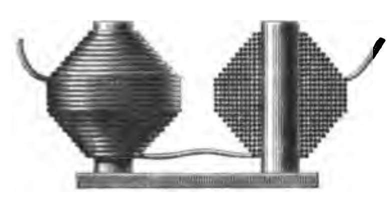


Fig. 34.

Die **gewöhnliche Form** des für magnetelektrische Instrumente gebräuchlichen Elektromagnets ist in Fig. 35 illustriert, wobei die Kerne massiv oder nach dem auf S. 62 angegebenen Grunde auch hohl, d. i. röhrenförmig, sein können.



Fig. 35.

Ein Elektromagnet mit nur einer Drahtrolle ist in Fig. 36 illustriert; bei demselben ist der drahtlose Schenkel, welcher durch die Drahtrolle des andern Schenkels mit magnetisiert wird, so gebogen, daß die beiden Pole sehr nahe zusammen kommen und daher auf einen Anker (Armatur) von geringem Umfange wirken können.

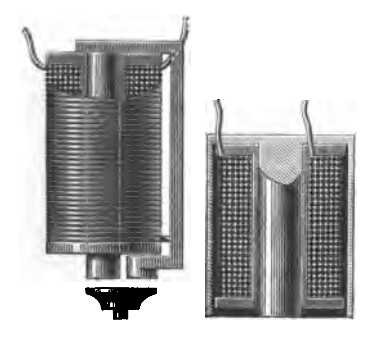


Fig. 36. Fig. 37.

Ein Elektromagnet mit zwei konzentrischen Polen ist in Fig. 37 dargestellt. Bei demselben ist der ine Magnetschenkel wie gewöhnlich solid cylindrisch geformt, während er andere Schenkel aus einem den ersten Schenkel umgebenden

Hohlcylinder besteht. Die induzierende Drahtrolle sitzt auf dem innern, soliden Schenkel und wird von dem hohlcylindrischen Schenkel umgeben; während also der eine Pol durch eine Kreisfläche gebildet wird, besteht der andere Pol aus einer Ringfläche. Dieser sogenante Glockenmagnet soll verhältnismäßig sehr kräftig wirken. Magnete ähnlicher Art werden zuweilen für Telephone benutzt.

Pulvermachers Elektromagnet (Fig. 38) ist in der Weise hergestellt, daß in eine Eisenplatte eine Reihe von Nuten oder Furchen eingeschnitten sind, in welche ein isolierter Draht schlangenförmig eingelegt ist. Dergleichen Magnete haben so viele Pole, als durch die Einschnitte Vorsprünge in der Platte gebildet worden sind, und zwar wechseln die Pole mit einander ab. Mit nur einem Drahte werden diese Magnete nicht sehr kräftig, da sie aber nur wenig Raum einnehmen, so kann man die Pole sehr vervielfältigen.

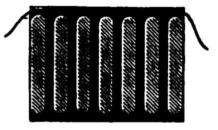


Fig. 38.

Roccis Elektromagnet (Fig. 39), eine neuere Konstruktion, besitzt die Eigentümlichkeit, daß der Magnet gleichzeitig als Stromleiter oder Konduktor dient. Um dies zu bewerkstelligen ist um einen steifen Eisendraht ein langer Streifen Eisenblech mehrmals herumgewunden, und um dessen Windungen von einander zu isolieren ist ein Streifen geöltes Papier dazwischengelegt. Ein Pol der erregenden Batterie ist mit dem in der Mitte steckenden Eisendrahte und der andere Pol mit dem äußern Ende des Blechstreifens verbunden. Jede Umwindung dieses vom elektrischen Strome durchlaufenen Blechstreifens induziert in der nächsten Windung den Magnetismus und dieser übt wiederum seinen Einfluß auf die nächste Windung aus u. s. f. Die magnetische Kraft wächst nach der Mitte zu und die stärkste Wirkung leistet der Zentraldraht.



Fig. 39.

Wird isolierter Kupferdraht um den Roccischen Elektromagnet herumgewunden und der Strom hindurchgeführt, so wird das zusammengerollte Eisenblech und der Zentraldraht zwar auch magnetisch, aber der Magnetismus nimmt nach der Mitte zu ab. Wenn der elektrische Strom sowohl durch den außen herumgewundenen

Kupferdraht als auch durch das zusammengewundene Eisenblech geleitet wird, so ist die magnetische Kraft im ganzen Apparat gleich stark.

In Comachos Elektromagnet (Fig. 40) besteht jeder Kern oder Magnetschenkel aus einer Reihenfolge konzentrischer Eisenröhren 1, 2, 3, 4 und 1′, 2′, 3′, 4′, welche einen ihrer Metalldicke gleichen Zwischenraum zwischen sich haben. Auf jede dieser Röhren ist, immer in gleicher Richtung, ein isolierter Kupferdraht b gewickelt; die Umwicklung der beiden äußeren Röhren ist am stärksten. Die Enden f der den einzelnen Röhren entsprechenden Drähte gehen

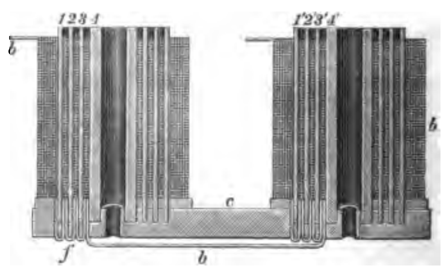


Fig. 40.

durch den Steg oder die Brücke des Magnets hindurch und sind derartig mit einander vereinigt, daß sie eine einzige Leitung bilden. Bei Anwendung von zehn Bunsen-Elementen ist die Anziehungskraft eines solchen Magnets mit 15 cm Spulendurchmesser und 17 cm Spulenlänge auf die Entfernung von 1 mm gleich 1000 kg und bei einer Entfernung von 6 mm gleich 250 kg. Man kann annehmen, daß ein solcher Comachoscher Röhrenmagnet bei gleichem Gewichte fünfmal stärker ist, als ein gewöhnlicher Elektromagnet.

Schließlich zeigt Fig. 41 noch die mittels eines Elektromagnets dargestellten magnetischen Kurven. Zu dieser Darstellung ist auf die Pole eine Glasplatte gelegt und mit feinen Eisenfeilspänen bestreut worden. Nachdem dies geschehen und der Magnet durch den elektrischen Strom erregt worden ist, wird die Glastafel durch leichtes Klopfen mit einem Bleistifte oder einer Stricknadel in Vibrationen versetzt, um die Eisenfeilspäne dadurch der freien Wirkung des Magnetismus auszusetzen und die vollkommene Bildung der Kurven herbeizuführen.

57. Was ist über die Anwendung der Armatur der Elektromagnete zu bemerken?

Die Armatur eines Elektromagnets besteht entweder aus einem temporären, oder einem permanenten Magnet, oder auch bloß aus

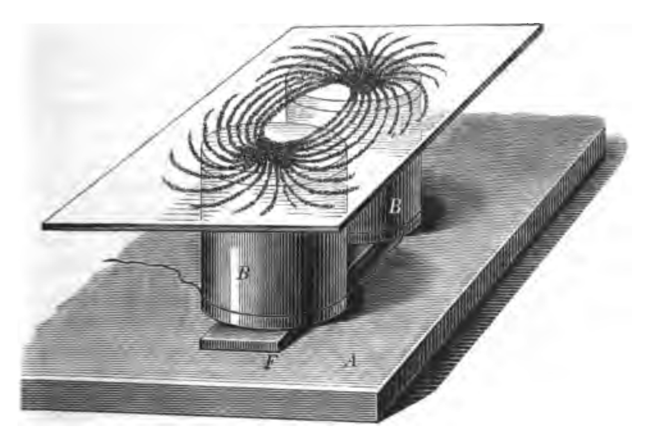


Fig. 41.

einem Stück weichen Eisens und wird im letztern Falle insbesondere als Anker bezeichnet; diese Armatur kann in sehr verschiedenartiger Weise, entsprechend dem Zwecke, welchem der Elektromagnet dienen soll, angeordnet sein. Sie kann mittels Scharniere an den Spulen, oder sie kann an einer entsprechenden Vorrichtung angebracht sein.

Die Bewegung des Ankers geht bei dieser Einrichtung pendelartig zur Axialrichtung des Magnets von statten. Liegt der Drehpunkt des Ankers in der durch die beiden Magnetschenkelaxen bestimmten Ebene, so wirkt der vom Drehpunkte entferntere Pol zwar mit geringerer Anziehungskraft als der dem Drehpunkte näher gelegene Pol, jedoch greift er dafür an einem um desto längeren Hebelarm an, so daß die Wirkung im ganzen sehr effektvoll ist. Liegt die Drehaxe des Ankers parallel zu der durch beide Magnetschenkelaxen bestimmten Ebene, so kommen beide Pole mit gleicher Anziehungskraft zur Wirkung.

Die Armatur kann auch der leichten Beweglichkeit wegen an einer Feder f (Fig. 42 S. 70) angebracht sein und die anziehende Wirkung der Pole durch eine zweite Feder g unterstützt werden.

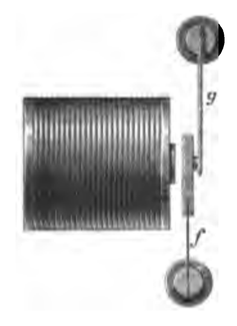


Fig. 42.

Bei einer in früherer Zeit von Siemens für die Telegraphenapparate angewendeten Armatur war dieselbe, wie Fig. 43 zeigt, zwischen den Magnetpolen drehbar angeordnet, wobei die Magnetpole selbst mit weichen Eisenstücken m und n armiert sind, um die Anziehungsflächen derselben seitlich anzubringen. Die Rückwärtsdrehung und damit die Entfernung der Armatur wird durch eine am Hebelarme ab ziehende Spiralfeder bewirkt.

Eine andere Anordnung einer ebenfalls zwischen den Magnetschenkeln drehbaren Armatur ist in Fig. 44 illustriert. Damit die Armatur nahezu eine halbe Umdrehung machen kann sind die Enden der Magnetschenkel, zwischen denen die Armatur spielt, bis nahezu gegen ihren Mittelpunkt ausgehöhlt.

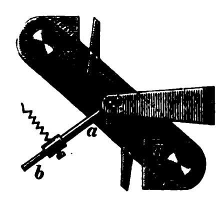


Fig. 43.

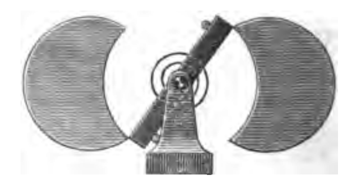


Fig. 44.

Durch die Wirkung einer Spiralfeder wird die Armatur zurückgedreht und durch Anschlagstifte an einer zu weiten Zurückdrehung gehindert.

Neuntes Kapitel.

Von der Induktionselektrizität und den Induktionsapparaten.

58. Unter welchen Umständen tritt die Induktionselektrizität auf und wie verhält sich dieselbe?

Man kennt zwei Arten elektrischer Induktionswirkung, die Volta-Induktion und die Magnet-Induktion; die erstere wird

durch galvanische Ströme, die zweite durch Magnetismus in einem für sich bestehenden Stromkreise hervorgerufen.

Die Volta-Induktion oder Induktion schlechtweg erfordert das Vorhandensein von zwei benachbarten Stromkreisen, von denen der eine — der primäre Stromkreis — durch einen eingeschalteten Elektromotor, z. B. durch eine galvanische Batterie, einen konstanten Strom zugeführt erhält, während der andere — der sekundäre Stromkreis — aus einem einfach geschlossenen Leitungsdrahte besteht.

Beide Stromkreise müssen dabei ganz oder doch wenigstens teilweise in geringer Entfernung von einander parallel laufen, wie dies Fig. 45 illustriert. Es ist hier AB der mit dem eingeschalteten

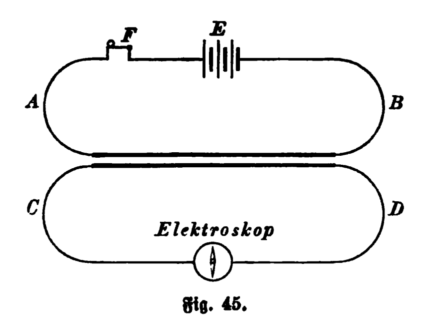


Fig. 45.

Elektromotor E versehene primäre Stromkreis und CD der sekundäre Stromkreis, in welchen zur Erkennung der Stromrichtung ein Elektroskop eingeschaltet ist. Um den zur Induktionserregung dienenden Primärstrom rasch aufheben und wiederherstellen zu können, ist der primäre Stromkreis mit einem sog. Interruptor F versehen, mittels dessen der Stromkreis abwechselnd unterbrochen und wieder geschlossen werden kann.

So lange beide Stromkreise unverändert ihre gegenseitige Lage beibehalten und so lange der Primär- oder Hauptstrom konstant bleibt, verhält sich der sekundäre Stromkreis elektrisch neutral, indem keine Ursache zu einer Störung des in demselben bestehenden elektrischen Gleichgewichtes vorhanden ist. Sobald aber der Primärstrom eine momentane Schwankung in seiner Stärke erleidet oder wiederholt rasch nach einander unterbrochen und wieder geschlossen wird, oder

beide Stromkreise rasch von einander entfernt und einander wieder genähert werden, entsteht im sekundären Stromkreise ein momentaner Sekundärstrom, der eben so rasch wieder verschwindet als er entsteht, und dieser momentane Sekundärstrom wird „Induktionsstrom“ genannt.

Jede Abschwächung der Wirkung des Primärstromes auf den sekundären Stromkreis (eine Unterbrechung des Primärstromes mit inbegriffen) ruft in dem sekundären Stromkreise einen zum Primärstrome gleichgerichteten Induktionsstrom, und jede Verstärkung der Wirkung des Primärstromes (eine frische Schließung des vorher unterbrochenen primären Stromkreises mit inbegriffen) ruft in dem sekundären Stromkreise einen zum Primärstrome entgegengesetzt gerichteten Induktionsstrom hervor.

Mit Bezug auf die Thatsache, daß zwei parallele Leiter sich gegenseitig anziehen oder abstoßen, jenachdem dieselben von gleich gerichteten oder entgegengesetzt gerichteten Strömen durchflossen werden (vergl. S. 44), ist für die gegenseitige Richtung zwischen Primär- und Sekundärstrom (Induktionsstrom) das von Lenz aufgestellte Gesetz gültig, welches lautet:

Die Richtung eines induzierten Stromes ist stets derjenigen Richtung entgegengesetzt, in welcher ein kontinuierlicher Strom in demselben Stromkreise zirkulieren müßte, um diejenige Bewegung (Anziehung oder Abstoßung) hervorzubringen, welche die Ursache des Induktionsstromes war.

Hierbei ist jede Abschwächung (auch Aufhebung) des Primärstromes als eine wachsende Entfernung der beiden Stromkreise und jede Verstärkung des Primärstromes (auch frische Schließung des vorher unterbrochenen Stromes) als eine wachsende Annäherung der beiden Stromkreise anzusehen.

Die Magnet-Induktion erfolgt durch die Annäherung oder Entfernung eines Magnets gegen einen Stromkreis, der in diesem Falle am besten als cylindrische Spirale geformt ist, während der Magnet die Stabform hat, so daß derselbe in die Spirale eingesenkt und wieder herausgezogen werden kann; dasselbe Resultat wird natürlicherweise auch erhalten werden, wenn der Stromkreis über den Magnetstab hinweggezogen wird.

Wenn im ersten Falle der ringförmig angenommene Stromkreis sich dem Nordpole des Magnets nähert, so wird im Stromkreise ein Strom entstehen, dessen Richtung entgegengesetzt zu der Richtung

desjenigen Stromes ist, der den Nordpol anziehen würde. Dieser Strom dauert fort, bis der Ring die Mitte des Magnetstabes, d. i. dessen neutralen Punkt erreicht; in diesem Punkte hört der Strom auf. Wird der Stromkreis noch weiter nach rechts hin, über die Mitte des Magnetstabs hinaus, bewegt, so entsteht ein entgegengesetzter Strom, und dieser Strom dauert fort, bis sich der Stromkreis über den Südpol hinweg und bis zu einer größern Entfernung von demselben bewegt hat. In diesen beiden entgegengesetzten Fällen werden also vom Magnete Induktionsströme von entgegengesetzten Richtungen im Stromkreise erregt. Auch für diese Magnet-Induktion gilt das Lenzsche Gesetz und überhaupt sind die induzierten Ströme irgendwelchen Ursprunges stets so gerichtet, daß sie der Bewegung, durch welche sie erzeugt werden, widerstehen, wobei mit Bezug auf die Magnet-Induktion die auf S. 75 besprochenen Thatsachen in Betracht zu ziehen sind.

59. In welcher Beziehung steht die Stärke eines Induktionsstromes zu seiner erregenden Ursache?

Die Induktionsströme sind der Stärke der sie erregenden Ursache, also entweder der Stärke des Primärstromes oder der Stärke des Magneten, direkt proportional. Mit Bezug auf die Volta-Induktion ist zu bemerken, daß die Stärke oder Intensität des Induktionsstromes sich mit der Abnahme der Entfernung zwischen beiden Stromkreisen, so wie mit der Länge des der Induktion ausgesetzten Drahtes, und mit der Verminderung von dessen Durchmesser vergrößert. Ähnliches findet bei der Magnet-Induktion statt.

Der beim Schließen des primären Stromkreises entstehende, entgegengesetzt zum Primärstrome gerichtete Sekundärstrom oder sogen. Schließungsstrom schwächt durch seine induzierende Rückwirkung auf den primären Stromkreis den Haupt- oder Primärstrom, so daß dieser erst mit dem Aufhören des nur momentan wirkenden Sekundärstromes seine volle Kraft im eigenen Stromkreise erlangt, während der beim Öffnen des primären Stromkreises im sekundären Stromkreise induzierte sogen. Öffnungsstrom den kurzezeit nachwirkenden Primärstrom verstärkt, welche Wirkungsvermehrung sich auch durch den stärkern Trennungsfunken bemerkbar macht.

60. Was versteht man unter Extraströmen?

Unter Extraströmen oder Gegenströmen versteht man die bei jeder Änderung in der Stärke des Primärstromes entstehende induzierende Gegenwirkung des Sekundärstromes auf den primären

Stromkreis und ferner auch noch die induzierenden Wirkungen, welche die Teile des primären Stromkreises auf einander selbst ausüben können, für den Fall, daß diese Teile — wie dies z. B. in einem spiralförmig aufgewundenen Drahte stattfindet — stellenweise mit einander parallel laufen. Diese Extraströme werden je nach ihrer verhältnismäßigen Richtung schwächend oder verstärkend auf den Hauptstrom einwirken.

61. Welche Erscheinungen treten insbesondere bei der Magnet-Induktion hervor?

Wenn ein Teil einer Stromleitung einen weichen Eisenkern spiralförmig umgiebt, so sind die in diesem Stromkreise beim Öffnen und Schließen des Stromes entstehenden Extraströme noch bedeutend stärker, als bei der Volta-Induktion, indem zu der induzierenden Wirkung des Stromes noch die beim Entstehen und Verschwinden des Magnetismus im Eisenkern auftretende Induktion hinzukommt. Die magnetische Induktion ist sogar um so viel stärker als die durch den Strom direkt erzeugte Volta-Induktion, daß die letztere gegenüber der erstern vernachlässigt werden kann. Die elektrodynamische Kraft der Magnet-Induktion ist proportional der Anzahl der Windungen der Induktionsspirale, der Intensität des Magnetfeldes und der Geschwindigkeit, mit welcher das letztere erregt wird oder mit welcher die Erregung verschwindet. Infolge des Auftretens der Magnet-Induktion wird in den Spiralen eines Elektromagnets in dem Augenblicke, wo der Magnetismus wieder verschwindet, ein Induktionsstrom erregt. Hieraus folgt also, daß, während bei dem in einem Stromkreise eingeschalteten Magneten die elektrische Kraft der Spirale magnetisierend auf den Eisenkern einwirkt, umgekehrt der magnetisierte Eisenkern beim Entstehen und Verschwinden des Magnetismus einen Induktionsstrom in der den Kern umgebenden Spirale hervorruft.

62. Welchen Gesetzen unterliegen die Induktionsströme?

Die Gesetze der Induktionsströme sind denen der Primärströme (kontinuierlichen Ströme), resp. denen der galvanischen Ströme analog, weil die Natur beider Arten der elektrischen Erregung ein und dieselbe ist. Jedenfalls treten die induzierten Ströme stets als ein Äquivalent der sie erregenden Arbeitsgröße auf und sie sind dieser Arbeitsgröße proportional. Es ist daher auch für die Induktionsströme das Ohmsche Gesetz (vergl. S. 22) gültig. Hiernach ist es möglich durch Einschaltung eines starken Widerstandes

in Form eines dünnen langen Drahtes, der zur Raumbeschränkung auf eine Spule spiralförmig vielfach über einander aufgewunden ist, im sekundären Stromkreise einen Induktionsstrom von sehr starker Potentialdifferenz (Spannung) zu erzeugen und folglich auch mit dem Induktionsstrome kräftige Funken und eine intensive physiologische Wirkung zu erhalten.

Da die quantitative Stärke des induzierenden Hauptstromes für die Stärke der Induktion maßgebend ist, so wählt man bei Induktionsapparaten zum primären Stromkreise einen möglichst wenig Widerstand bietenden Leiter, d. i. einen genügend starken Draht, wogegen aus den oben angeführten Gründen der sekundäre Stromkreis behufs Erzielung einer hohen Potentialdifferenz (Spannung) aus einem langen dünnen Drahte gebildet wird.

63. Zu welchen Zwecken werden die Induktionsströme benutzt und in welcher Weise werden dieselben für den praktischen Gebrauch erzeugt?

Die Induktionsströme finden vielfache Anwendung im Gebiete der Physik, Heilkunst und Technik. Die technische Verwendung derselben bezieht sich insbesondere auf die Verwendung der magnetelektrischen und dynamoelektrischen Maschinen, deren elektromotorische Wirkung auf der Erzeugung so rasch auf einander folgender Induktionsströme beruht, daß dieselben möglichst geringe Zeitintervalle zwischen sich haben, oder — wenn sie gleichgerichtet sind — einen kontinuierlichen Strom bilden. Derartig erzeugte Induktionsströme werden zur Erzeugung von elektrischem Lichte, für elektrolytische Wirkungen (Metallniederschläge), zur elektrischen Krafttransmission, für telegraphische Zwecke u. s. w. verwendet. Zu ihrer Erzeugung benutzt man im kleinen sogenannte Induktionsapparate, wobei ein Primärstromkreis mit einem konstanten galvanischen Strome als Erreger dient. Im großen wird die Magnet-Induktion benutzt, mittels welcher mechanische Arbeit in sehr ausgiebiger Weise zur Elektrizitätserregung dient.

Die Wirkungsweise aller Induktionsapparate beruht darin, daß in möglichst rascher Aufeinanderfolge abwechselnd entgegengesetzt gerichtete elektrische Ströme induziert werden. In vielen Fällen ist dieser Richtungswechsel der durch den Stromkreis gesendeten Ströme nicht störend, mitunter sogar erwünscht und für die beabsichtigte Wirkung notwendig. In anderen Fällen jedoch will man im Stromkreise einen kontinuierlichen Strom haben, so daß die in

ihrer Richtung wechselnden Induktionsströme vor ihrem Eintritt in den Stromkreis in gleiche Richtung gebracht werden müssen. Um diesen Zweck zu erreichen werden besondere Vorrichtungen, sogen. Kommutatoren, benutzt.

Bei sehr rascher Aufeinanderfolge haben solche gleichgerichtete Induktionsströme genau dieselbe Wirkung wie ein konstanter Strom, indem dieselben eine Magnetnadel konstant ablenken, so daß die Stromstärke wie bei dem galvanischen Strome bestimmt werden kann.

64. Wie ist eine Induktionsrolle (Induktor) konstruiert?

Eine Induktionsrolle besteht im wesentlichen aus zwei konzentrisch aufgewundenen, von einander isolierten Drahtspiralen oder Rollen, von denen die innere den primären, die äußere den sekundären Stromkreis bildet. Um den primären Stromkreis in sehr kurzen Zeitintervallen zu unterbrechen und somit dessen induzierende Wirkung auf den sekundären Stromkreis hervorzurufen, benutzt man eine besondere, als Rheotom oder elektrischer Hammer (Wagnerscher Hammer) bezeichnete Vorrichtung; dieselbe besteht aus einem in die Primärspirale (Primärrolle) eingesteckten Stabe aus weichem Eisen oder besser noch aus einem Drahtbündel (vergl. S. 49), das aus weichen Eisendrähten gebildet ist, die durch eine Oxydschicht oder einen dünnen Firnisüberzug von einander isoliert sind. Vor diesem Eisenkerne befindet sich ein federnder leichter Anker (Hammer), der sich in der Ruhelage an einen Kontakt anlegt und dadurch den Primärstromkreis schließt. Durch diesen Stromschluß wird sofort der Eisenkern magnetisch, zieht den Anker oder Hammer an, unterbricht aber dadurch auch den seine Magnetisierung hervorrufenden Primärstromkreis, so daß der vom Eisenkerne nicht mehr angezogene Hammer zurückfedert, dadurch den Kontakt wieder berührt und somit den Stromkreis schließt, worauf der wieder magnetisierte Kern ihn von neuem anzieht, und so fort.

Um die Stromstärke eines solchen Induktionsapparates regulieren zu können, was für Heilzwecke besonders nötig ist, hat man die Einrichtung derartig getroffen, daß die Primärrolle mehr oder weniger aus der Sekundärrolle herausgezogen werden kann, wodurch schwächere oder stärkere Induktionsströme entstehen. Einen derartigen sogen. Schlittenapparat hat Du Bois-Reymond für therapeutische Zwecke konstruiert.

Zur starken Funkenbildung benutzt man die sogen. Funken-Induktoren, von denen der Ruhmkorffsche Induktor der

bekannteste ist. Die Sekundärrolle besteht hier aus einem sehr dünnen langen Kupferdrahte und der Kontakt am Rheotom wird häufig des innigern Kontaktes halber durch ein Quecksilberniveau hergestellt, wie Fig. 46 illustriert. PP ist die Primärrolle, SS die Sekundärrolle, MM der Eisenkern des Rheotoms, H der federnde Hammer, welcher in seiner Ruhelage in den Quecksilberkontakt Q eintaucht; in diesen Kontakt taucht auch der eine Poldraht a′ der galvanischen Batterie E ein, während der andere Batteriepol durch den Draht a mit dem einen Drahtende der Primärrolle P in Verbindung steht. Das andere Drahtende der Primärrolle P ist mit dem Hammer H verbunden und somit ist der Primärstromkreis, worin die Batterie E eingeschaltet ist, geschlossen, sobald der Hammer H in das Quecksilber des Kontaktes Q eintaucht, und somit wird der Eisenkern M magnetisiert. Durch

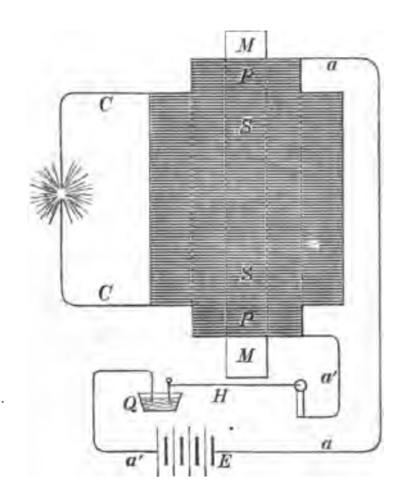


Fig. 46.

den magnetisierten Eisenkern M wird aber der mit dem Hammer H verbundene leichte Eisenanker angezogen, wodurch der Hammer gehoben und der Kontakt unterbrochen wird. Infolge der hierdurch herbeigeführten Stromunterbrechung hört die Magnetisierung des Eisenkernes auf, der Hammer schnellt gegen den Kontakt zurück, und so fort. Durch diesen fortdauernden Wechsel von Stromschluß und Stromunterbrechung entstehen fortdauernd in rascher Folge die zur Funkenbildung im Sekundärstromkreise c c dienenden Induktionsströme.

Dritter Abschnitt.

Die elektrischen Meßapparate und Meßmethoden.

Zehntes Kapitel.

Potential- und Kapazitätsmessungen.

65. Welcher Instrumente bedient man sich zur Wahrnehmung der elektrischen Erregung (des elektrischen Potentials) der Körper?

Hierzu dient das Elektroskop, dessen Wirkungskreise derartig ist, daß es eine Differenz der Potentiale zwischen dem zu untersuchenden Körper und der Erde anzeigt. Gleichzeitig läßt sich auch bei einer gewissen Einrichtung dieses Instruments das Vorzeigen der Potentialdifferenz oder — wie man wohl auch sagt — die Art der Elektrizität (ob + oder —) erkennen. Die Wirkungsweise des Elektroskops beruht auf dem elektrischen Attraktions- oder Polaritätsgesetze (S. 14) und besteht in dem Anziehen und Abstoßen leichter und beweglicher Leiter. Nach ihrer verschiedenartigen Einrichtung kann man folgende Hauptarten unterscheiden: 1) Elektroskope, bei denen nur ein beweglicher leichter und isolierter Leiter von dem auf seine freie Elektrizität (Potentialdifferenz) zu prüfenden Körper erst angezogen und dann abgestoßen wird; 2) solche, wo zwei solche [illegible]er vorhanden sind, welche sich, nachdem die Mitteilung der [illegible]rizität von dem zu untersuchenden Körper erfolgt ist, gegenseitig

abstoßen; 3) solche, wo nur einer der beiden Leiter beweglich ist, und wo dieser alsdann von dem unbeweglichen angezogen oder abgestoßen wird, und 4) solche, wo sich ein beweglicher isolierter Leiter zwischen einem positiven und einem negativen elektrischen Körper befindet und wo dann dieser Leiter, nachdem derselbe die Elektrizität von dem zu prüfenden Körper aufgenommen hat, von dem entgegengesetzt elektrischen angezogen wird.

66. Wie sind die Instrumente eingerichtet, mit denen man die Größe der Potentialdifferenz messen kann?

Diese als Elektrometer bezeichneten Instrumente haben eine den Elektroskopen ähnliche Einrichtung und können selbstverständlich stets als solche benutzt werden, an denselben ist jedoch noch eine Skala und sonstige geeignete Vorrichtungen zum Messen der Bewegung angebracht, welcher der bewegliche Leiter unter dem Einflusse der elektrischen Anziehung und Abstoßung unterliegt.



Fig. 47.

Zu der ersten Klasse dieser Instrumente gehört das einfache elektrische Pendel, welches aus einem an einem Seidenfaden aufgehängten Kügelchen aus Hollunder oder Sonnenrosenmark oder auch aus Kork besteht. Der Faden wird entweder einfach mit der Hand gehalten oder ist an einem Gestell befestigt und das Kügelchen wird mit dem zu untersuchenden Körper in Berührung gebracht, so daß es sich mit dessen Elektrizität ladet und folglich abgestoßen wird. Ein Apparat dieser Art kann jedoch eigentlich nur als Elektroskop dienen, da seine Angaben viel zu unsicher sind, um danach die Elektrizitätsmenge zu bemessen.

Ein Elektrometer, welches nach der zweiten Art der Elektroskope eingerichtet ist, ist das von Volta (Fig. 47); dasselbe besteht aus einem geschlossenen Glascylinder, aus dessen Deckel ein mit einer Kugel versehener Messingdraht hervorragt, an dessen unterm Ende zwei Korkkügelchen oder zwei schmale Streifchen Blattgold hängen, welche durch Berührung der Kugel mit dem zu untersuchenden elektrischen Körper gleichnamig elektrisch werden und daher einander abstoßen. An einer passend angebrachten Skala kann man ihr

Abstoßungswinkel messen und danach die Stärke der Potentialdifferenz zwischen dem elektrischen Körper und der Erde verhältnismäßig bestimmen.

Ein Instrument der dritten Art ist das Henleysche Quadranten-Elektrometer (Fig. 48), welches jedoch nur zu Messungen stärkerer Potentialdifferenzen benutzt werden kann; dasselbe besteht aus einem Metallstäbchen, woran ein wie schon oben besprochen eingerichtetes elektrisches Pendel hängt. Der Metallstab wird in geeigneter Weise an dem zu untersuchenden Körper befestigt, oder auch auf einem Stativ isoliert aufgestellt und mit dem zu untersuchenden Körper leitend verbunden.

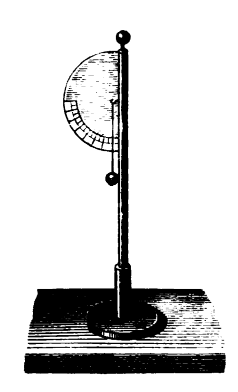


Fig. 48.

Hierher gehört auch das von Oersted nach dem Prinzip der Coulombschen Drehwage konstruierte Elektrometer.

Ein Instrument der vierten Art ist das ebenfalls ältere Bohnenbergersche Elektrometer, in welchem eine kleine galvanische Säule zwei gegenüberstehende Metallplatten konstant mit entgegengesetzten Elektrizitäten ladet; zwischen diesen Platten hängt ein Streifchen Blattgold, welches die Elektrizität des zu untersuchenden Körpers aufnimmt und durch seinen Anschlag an die positive oder negative Polplatte anzeigt, welcher Art die zu untersuchende Elektrizität ist.

Neuerdings sind insbesondere von William Thomson sehr vervollkommnete Elektrometer konstruiert worden, welche als die genauesten Instrumente dieser Art gelten; dieselben zerfallen in zwei Klassen, nämlich in:

1) idiostatische Elektrometer, bei denen die ganze auf den Apparat einwirkende elektrische Kraft nur von der Elektrizität herrührt, deren Potential gemessen werden soll;

2) heterostatische Elektrometer, bei denen man noch eine zweite, von der zu messenden unabhängige Elektrisierung zuhülfenimmt.

Die Einrichtung und Wirkungsweise der Thomsonschen Elektrometer ist verschieden; bei der einen Art wird das Potential

durch die Anziehung zweier ebenen, parallelen Leiter gemessen, die einander bis auf eine gewisse Entfernung genähert und deren Potentiale auf verschiedener Höhe erhalten werden; bei der andern Art beobachtet man die Ablenkung eines lamellenartigen beweglichen Leiters, der in einem zu seiner Gleichgewichtslage symmetrisch angeordneten elektrischen Felde schwebt.

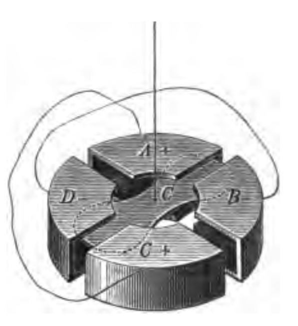


Fig. 49.

Ein nach dem zuletzt erwähnten Prinzip konstruiertes, sehr empfindliches Instrument ist das in Fig. 49 und 50 illustrierte Quadranten-Elektrometer. In demselben ist die Wirkung der Erdpolarität vollständig neutralisiert und somit ein astatisches Instrument hergestellt. Der leicht bewegliche elektroskopische Körper C (Fig. 49) oder Zeiger besteht aus einer dünnen Aluminiumlamelle in der Form einer 8. Dieser Zeiger schwebt in einem vierteiligen, aus

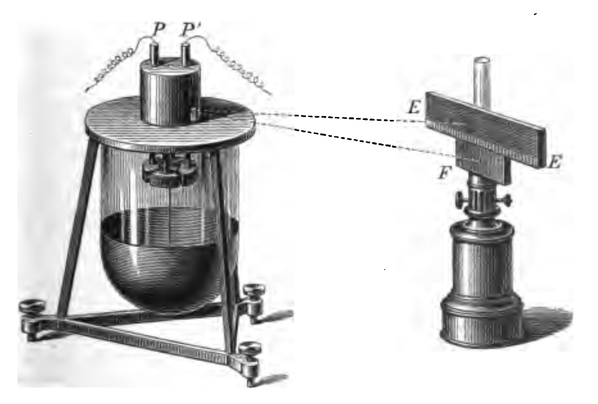


Fig. 50.

vier Quadranten gebildeten Metallgehäuse A B C D. Je zwei diametral gelegene Quadranten sind durch Drähte verbunden und

die Potentiale der beiden so gebildeten Quadrantenpaare werden auf verschiedener Höhe erhalten.

Der Zeiger steht in seiner Ruhelage in der Mitte des einen Spaltes der Quadranten und ist mit einer konstanten Elektrizitätsquelle — am besten einer kleinen Leidener Flasche — in Verbindung gesetzt. Beim Messen eines Potentials wird diese Leidener Flasche auf ein gewisses Potential geladen; hierauf wird das eine Quadrantenpaar gewöhnlich zur Erde abgeleitet, das andere dagegen mit dem Körper, dessen Potential gemessen werden soll, verbunden. Der Zeiger wird dadurch aus seiner Ruhelage abgelenkt und diese Ablenkung wird durch die Torsion des Fadens ähnlich wie bei einer Drehwage gemessen.

Bezeichnet man mit K die Größe des Torsionsmomentes des Fadens oder feinen Drahtes, woran der Zeiger hängt, mit V dessen Potential, mit V_1 und V_2 die Potentiale der Quadranten, so entsteht die Gleichung:

$$K = C V (V_1 - V_2),$$

worin C ein gewisser konstanter Faktor ist.

Die Beobachtung der unter dem Einflusse der verschiedenen Potentiale hergestellten Gleichgewichtslage der Lamelle C wird nach der Reflektionsmethode vermittelst eines kleinen mit der Lamelle verbundenen Spiegels gemessen. Fig. 50 stellt ein solches Reflexions-Elektroskop dar. Dem Spiegel gegenüber steht Schirm F, der mit einem engen vertikalen Spalt versehen ist, dessen vertikale Mitte ein ausgespannter dünner Platindraht bezeichnet. Durch diesen Spalt fällt das Licht einer dahinter stehenden Lampe auf den Spiegel, der ein objektives Bild des Spaltes und des darin ausgespannten Drahtes auf einen in 1 m Entfernung aufgestellten Maßstab E E wirft. Selbstverständlich muß der Spiegel so leicht als möglich sein.

Die Bestimmung der Potentialdifferenz oder Spannung kann auch durch die Messung der Stromstärke erfolgen, wozu eine andere, nachher zu besprechende Art von Meßinstrumenten, die Galvanometer, dienen. Ist nämlich der elektrische Widerstand zwischen zwei auf einem Leiter liegenden Punkten so gering, daß man denselben vernachlässigen kann, so ist die Stromstärke der Potentialdifferenz direkt proportional. Diese Methode der Messung von Potentialdifferenzen wird mit dem in Fig. 51 schematisch dargestellten Siemensschen Torsionsgalvanometer ausgeführt und es ist dasselbe hauptsächlich für die Maschinenpraxis bestimmt. Das Instrument ist mit einem Siemensschen Glockenmagnet M versehen, der an einem Cocon-

faden aufgehängt ist; die Torsion wird durch eine feine Spiralfeder bewirkt, die oben mit der festen Deckplatte und unten mit dem Magnet verbunden ist. Ein an der Drehaxe des Magnets befestigter Zeiger schwingt unter der auf der gläsernen Deckplatte befindlichen Skala. Parallel zur magnetischen Axe sind seitlich zwei Drahtrahmen mit je etwa 50 S. E. aufgestellt. Unter dem Instrument in der Grundplatte befindet sich ein Widerstand von etwa 900 S. E., der durch Einstecken eines Stöpsels bei a kurz geschlossen wird. Durch Lösen oder Anziehen einer in der Grundplatte befindlichen Schraube läßt sich das Instrument um seine Verticalaxe drehen oder feststellen. Durch eine mittels einer Schraube zur Wirkung gebrachte Feder, welche sich von unten in den Glockenmagnet legt, wird derselbe arretiert. Will man die Potentialdifferenz zweier Punkte einer Drahtleitung bestimmen, so zieht man von den Klemmen des Instruments nach jenen beiden Punkten Drähte. Es ist alsdann Bedingung, daß der Leitungswiderstand, welcher zwischen jenen zwei Punkten liegt, vernachlässigt werden kann. In diesem Falle ist nämlich die in dem Instrument gemessene Stromstärke der Potentialdifferenz direkt proportional. Bei diesem Instrument steht deshalb die gemessene Spannung mit dem Torsionswinkel in direkter Proportion. Mit eingestecktem Stöpsel (bei a) kann man Spannungen bis zu 1 Volt, bei ausgezogenem Stöpsel Spannungen bis zu 10 Volt messen. Die Empfindlichkeit beträgt im letztern Falle den zehnten Teil. Für Spannungen bis zu 100 Volt braucht man einen weitern Widerstand von 1000 S. E. u. s. f.

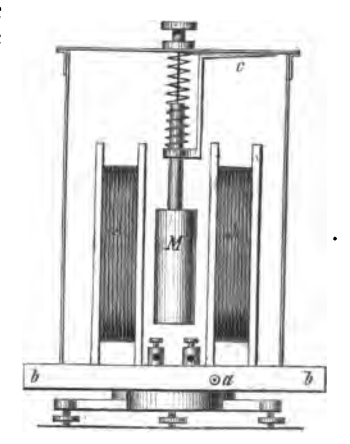


Fig. 51.

67. Wie wird die elektromotorische Kraft, d. i. die Potentialdifferenz, an den Polen eines isolierten Elektrizitätserzeugers nach absolutem Maße gemessen?

Man kann sich hierzu irgend eines Elektrometers bedienen. Wählt man hierzu z. B. das in Fig. 50 abgebildete Quadranten-

Elektrometer, so werden die beiden Pole des isolierten Elektrizitätserzeugers beziehentlich mit den beiden Quadrantenpaaren verbunden, und so die elektromotorische Kraft durch einen einzigen Versuch bestimmt. Besser ist es jedoch, drei Versuche auszuführen*). Bei diesem Verfahren verbindet man zuerst den positiven Pol des Elektrizitätserzeugers mit dem einen Quadrantenpaar, während gleichzeitig der negative Pol und das andere Quadrantenpaar zur Erde geleitet werden. Beim zweiten Versuche wird der negative Pol des Elektrizitätserzeugers mit einem Quadrantenpaar, dagegen der positive Pol und das andere Paar mit der Erde verbunden. Beim dritten Versuche endlich verbindet man den positiven Pol mit dem einen und den negativen Pol mit dem andern Quadrantenpaar. Man erhält so eine Probe für die Richtigkeit des Resultats, indem die Differenz der Potentiale beim dritten Versuch gleich der algebraischen Summe der in den beiden ersten Versuchen erhaltenen Potentiale sein muß.

Bezeichnet man mit K die Größe des Torsionsmomentes des Fadens oder Drahtes, an welchem die 8förmige bewegliche Lamelle des Quadranten-Elektrometers aufgehängt ist, mit V das Potential desselben, mit V_1 und V_2 die Potentiale des Quadranten, so besteht die Gleichung:

$$K = l\,V\,(V_1 - V_2),$$

wobei l ein gewisser konstanter Faktor ist.

68. Nach welchem empirischen Maß wird die elektromotorische Kraft bestimmt?

Als empirisches Maß der elektromotorischen Kraft ist eigentlich nur das galvanische Element von Daniell, die sogenannte Daniell-Zelle, vorhanden, die für Messungen bestimmte Daniell-Normalzelle wird nach Preece folgendermaßen konstruiert:

Das Gefäß besteht aus einem quadratischen Kasten aus Ebonit, welcher durch Scheidewände aus demselben Material in zwei Abteilungen geschieden ist, wie Figur 52 im Verticaldurchschnitt zeigt. Die rechts befindliche Abteilung enthält Wasser und dient bloß außer der Betriebszeit als Behälter für den porösen Thoncylinder, welcher die Kupferplatte K und Kupfervitriolkrystalle, sowie eine wässerige gesättigte Lösung derselben enthält. Das den Thoncylinder um-

*) Rinaldo Ferrini, „Technologie der Elektrizität u. des Magnetismus". S. 114.

gebende Wasser erhält die Poren der Thonmasse frei, so daß dieselben nicht von Kupfervitriolkrystallen verstopft werden können, und außerdem wird durch die Entfernung des Thoncylinders aus der links befindlichen Betriebsabteilung, welche die Zinkvitriollösung enthält, während der Ruhepausen verhütet, daß in der Zeit, wo die Zelle sich nicht im Betrieb befindet, die beiden Lösungen sich durch Diffusion vermischen, wodurch die Wirksamkeit der Zelle gestört werden würde. Die links befindliche Abteilung des Kastens enthält eine Zinkplatte Z, welche das negative Metall des Paares ist, von welchem das Kupfer das positive bildet; ferner befindet sich in derselben Abteilung ein cylindrisches Stück Zink Z′, welches am Boden liegt. Die in der links befindlichen Abteilung enthaltene Flüssigkeit besteht aus Wasser mit etwa $\frac{1}{10}$ Schwefelsäure, worin bis zur halben Sättigung Zinkvitriol gelöst ist. Das besondere am Boden liegende Zinkstück hat den Zweck, die im Betriebe der Zelle (wobei der Thoncylinder sich in der linken Abteilung befindet) in die Zinkvitriollösung durch Diffusion eintretende Kupfervitriollösung sofort zu zersetzen, wobei sich an dieser Zinkstange metallisches Kupfer niederschlägt, so daß dieselbe von Zeit zu Zeit davon befreit werden muß, um wirkungsfähig zu bleiben. Wird bei

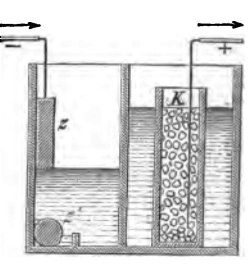


Fig. 52.

der Inbetriebsetzung der Zelle der Thoncylinder aus der rechten Abteilung in die linke gebracht, so steigt in der letztern die Zinkvitriollösung so weit empor, daß die Zinkplatte Z′, welche gleich der Kupferplatte K mit dem Leitungsdrahte verbunden ist, in die Lösung eintaucht, worauf der nunmehr entstehende elektrische Strom in den durch Pfeile angedeuteten Richtungen durch den die beiden Metallplatten verbindenden Leitungsdraht (Stromkreis) hindurchgeht. Da diese Normalbatterie bei den Versuchen, zu welchen dieselbe dient, nur immer einige Minuten lang benutzt wird, so erhält dieselbe sich lange in konstanter Wirkung. Die elektromotorische Kraft der Daniell-Normalzelle ist gleich 1.07 Volts. Übrigens ist zu bemerken, daß das Daniell-Element sehr stark von der Temperatur beeinflußt wird, so daß bei der Anwendung desselben zu elektrischen Messungen die Temperatur so konstant als möglich erhalten werden muß.

69. Wie wird die elektrische Kapazität eines Leiters bestimmt?

Zur Bestimmung der elektrischen Kapazität eines Leiters kann man das folgende Verfahren benutzen*). Man wählt einen Elektrizitätserzeuger, bei welchem die Potentialdifferenz an den Polen bei unterbrochenem Strom konstant dieselbe bleibt, also z. B. eine Batterie aus Daniellschen Elementen. Der eine Pol wird mit der Erde, der andere mit einem Elektrometer, z. B. mit dem einen Quadrantenpaare des Thomsonschen Instrumentes (Fig. 50) verbunden, während das andere Quadrantenpaar zur Erde abgeleitet ist. Das erste Paar nimmt infolge des Gleichgewichtszustandes das Potential V_0 an, welches an dem betreffendem Pole des Elektrizitätserzeugers herrscht; es wird nun die Ablenkung α_0 des Zeigers beobachtet; bei kleinem V_0 ist zu setzen

$$V_0 = K \alpha_0,$$

worin K konstant ist. Hierauf wird die Verbindung zwischen dem Pol und dem Elektrometer aufgehoben, und wenn das letztere in seinen Anfangszustand zurückgekehrt ist, verbindet man damit einen isolierten Leiter von bekannter Kapazität C', welcher also ebenfalls das Potential V_0 annimmt, wobei ein sehr dünner, sorgfältig isolierter Draht von passender Länge zur Verbindung benutzt wird. Hierauf wird die Verbindung mit dem Elektrizitätserzeuger unterbrochen und mit dem dünnen Drahte der Leiter und das isolierte Quadrantenpaar des Elektrometers verbunden. Durch diese Verbindung verteilt sich die Ladung des Leiters, so daß dessen Potential auf einen kleinern Wert V_1 sinkt.

Bezeichnet man mit c die Kapazität dieses Quadrantenpaares und nimmt man dieselbe als konstant an, so besteht die Gleichung:

$$C V_0 = (C + c); \; V_1 = K \alpha,$$

daher

$$c = C \frac{V_0 - V_1}{V_1} = C \frac{\alpha_0 - \alpha_1}{\alpha_1}.$$

Der Leiter könnte eine isolierte Kugel sein, deren Kapazität durch den Radius ausgedrückt wird und daher leicht anzugeben ist, indem C = r ist, jedoch ist dies nur richtig, wenn die Kugel keiner Influenzwirkung unterliegt, was bei der Nachbarschaft anderer Körper, z. B. der Zimmerwände, stets der Fall ist. Es ist daher besser,

*) Rinaldo Ferrini, l. c.

einen Kondensator von bekannter Kapazität zu benutzen und die äußere Belegung mit der Erde zu verbinden, wodurch die innere Belegung vor der Influenz der umgebenden Körper geschützt ist. Auch zur Bestimmung der Kapazität von nicht zu langen Telegraphenkabeln kann man diese Methode benutzen.

Elftes Kapitel.

Intensitätsmessungen.

70. Auf welche Weise wird die Intensität oder Stärke der elektrischen Ströme gemessen?

Zu derartigen Messungen kann man sich der verschiedenartigen Stromwirkungen bedienen, und zwar kommt dabei hauptsächlich die elektrolytische, kalorische und elektromagnetische Messungsmethode in Betracht, zu deren Ausführung verschiedenartige, zweckentsprechende Instrumente benutzt werden.

71. Mit welchen Instrumenten wird die elektrolytische Methode der Intensitätsmessung ausgeführt?

Man benutzt hierzu als älteste Instrumente die Voltameter, und zwar unterscheidet man dieselben in Volumenvoltameter und Gewichtsvoltameter. Als Volumenvoltameter wird nur das Wasservoltameter benutzt, und zwar wird dabei entweder das durch die mittels Platinelektroden bewirkte Wasserzersetzung gebildete Knallgas im Gesamtvolumen bestimmt, oder es werden die beiden Gase der Wasserzersetzung (der an der negativen Elektrode sich entwickelnde Wasserstoff und der an der positiven Elektrode sich entwickelnde Sauerstoff) einzeln aufgefangen. Als Elektrolyt dient ein Gemisch von 5 Teilen Wasser und 1 Teil Schwefelsäure, und es wird die Stromstärke aus dem Wasserstoffvolumen abgeleitet, weil das Wasser stets etwas Sauerstoff absorbiert. Die letztere Methode ist genauer als die Bestimmung durch das Knallgasvolumen.

Bei den Gewichtsvoltametern dient als Elektrolyt gewöhnlich eine konzentrierte Lösung von Kupfervitriol oder salpetersaurem Silber, wobei als Elektroden zwei parallele Lamellen aus demselben Metall, welches die Lösung enthält, benutzt werden.

Mit Benutzung des Wasservoltameters bestimmte Jacobi die Stromeinheit als einen Strom, durch dessen Intensität in der Minute 1 kcm Knallgas, auf 0° und 760 mm Barometerhöhe reduziert, entwickelt wird, jedoch ist diese Bestimmung nicht genau und auch nicht praktisch. Genauer sind die Bestimmungen der Stromstärke mittels Gewichtsvoltameter. Bei stärkeren Strömen benutzt man das Kupfer-Voltameter, bei schwächeren das Silber-Voltameter. Es entspricht dabei der Stromstärke von 1 Ampère ein Kupferniederschlag von 20 gr und ein Silberniederschlag von 66.6 gr pro Minute.

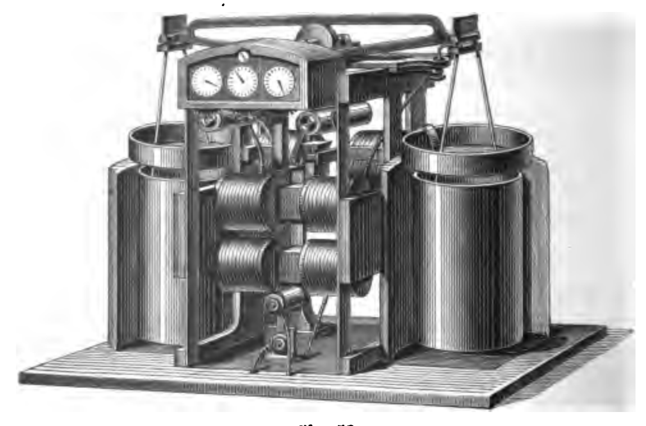


Fig. 53.

Fig. 53 illustriert das Edisonsche Registrier-Voltameter, welches als Kupfer-Voltameter konstruiert ist. Dieses automatisch wirkende Instrument ist mit einem Wagebalken versehen, an welchem beiderseits ein Cylinder aus Kupferblech hängt, der in ein Glasgefäß eintaucht, worin in einer gesättigten Lösung von Kupfervitriol ein zweiter, etwas weiterer Kupfercylinder sich befindet, der den erstern mit einem gewissen Zwischenraume umschließt. Je nachdem der Strom in jeder der beiden elektrolytischen Zellen von dem feststehenden Cylinder nach dem aufgehängten, oder von dem ...tern zum erstern geht, wird das Kupfer auf dem am Wagebalken ...genden Cylinder niedergeschlagen oder von demselben hinweggeführt,

so daß derselbe abwechselnd schwerer und leichter wird. Hierdurch schlägt der Wagebalken abwechselnd von der einen Seite auf die andere über und durch diese Bewegung des Wagebalkens tritt gleichzeitig ein Wechsel in der Stromrichtung in jeder der beiden Zellen ein, ferner wird dadurch aber auch ein Zählapparat in Bewegung versetzt, welcher stets die dem Übergewichte des niedersinkenden Kupfercylinders entsprechende Zahl von Stromstärkeeinheiten angiebt.

Ein neuerer Strommessungsapparat Edisons ist in Fig. 53a und 53b dargestellt; derselbe soll bei schwächeren Strömen ein genaueres Resultat ergeben, als der vorher beschriebene Apparat. Es werden dabei amalgamierte Zinkelektroden benutzt, welche in eine Lösung von Zinkvitriol eingetaucht sind. Bevor die Platten in das Elektrometer kommen, werden sie galvanoplastisch mit einem dicken Zinküberzug versehen, der beim Niederschlagen vollständig

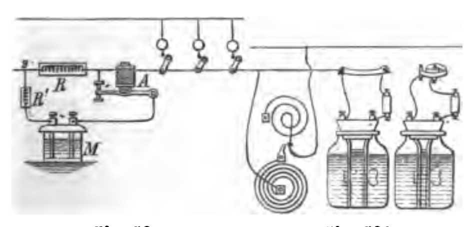


Fig. 53a. Fig. 53b.

amalgamiert wird. Die Niederschlagszelle M ist in einen Nebenschluß von der Hauptstromleitung eingeschaltet und durch einen Widerstand R in der Linie wird ein bestimmter Stromteil durch den Motor geschickt. Um die Wirkungen der Temperaturveränderungen, die im Widerstande der Zelle eintreten, zu kompensieren, ist ein Widerstandsdraht R¹ in den Stromkreis des Motors eingeschaltet. Zur Verhütung eines Gegenstromes und der Wiederzersetzung der Lösung, wenn kein Strom durch die Leitung geht, ist ein Elektromagnet angebracht, welcher den Nebenschluß automatisch unterbricht, wenn der Strom aufhört. Damit die Temperatur in der Zelle nicht zu tief sinken kann, ist neben derselben ein kleiner Widerstand vorhanden (Fig. 53b) und bei einer gewissen Temperatur stellt eine Spiralfeder einen Kontakt her und leitet einen gewissen Bruchteil des Stromes durch den Widerstand, um die nötige Temperaturerhöhung zu bewirken. Der Apparat kann aus zwei

Zellen gebildet werden, von denen die eine einen viel größeren Widerstand als die andere hat, um als Hemmung zu dienen. Anstatt der Glasgefäße und Metallplatten können zwei konzentrische Kupfercylinder benutzt werden.

72. Wie verfährt man bei der Ausführung der kalorischen Untersuchungsmethode?

Es wird hierbei ein Kalorimeter benutzt und eine aus Kupferdraht bestehende Spirale, deren Widerstand bei einer gewissen Temperatur genau bekannt ist, in das destillierte Wasser des Kalorimeters eingetaucht, worauf man den Strom durch die Spirale gehen läßt. Das Wasser wird mit einer kleinen Pumpe in Zirkulation versetzt, um die Erwärmung desselben ganz gleichmäßig zu bewirken, und die Temperatur wird mit einem feinen Thermometer bestimmt, wobei die nötigen Korrekturen wegen Wärmeverlustes anzubringen sind. Nehmen wir an, das Wasser im Kalorimeter wiege 28 k; die Temperaturdifferenz betrage 27—21.5 = 5.5° C.; die spezifische Wärme zwischen diesen Temperaturgrenzen ist 1.0015; die Versuchszeit sei gleich 15 Minuten. Hiernach ist die im Kalorimeter entwickelte Energie, wenn man 1 Kalorieäquivalent = 424 mk setzt:

$$\frac{28 \,.\, 1.0015 \,.\, 5.5 \,.\, 424}{15} = 4360 \text{ mk pro Minute.}$$

Um die ganze entwickelte elektrische Energie zu bestimmen, ist zu berücksichtigen, daß die Stromstärken sich umgekehrt wie die Widerstände in den Stromkreisen verhalten. Ist nun der Gesamtwiderstand im Stromkreise gleich 0.696 Ohm, während der Widerstand in der Kalorimeterspirale gleich 0.1 Ohm ist, so ergiebt sich die Gesamtenergie zu

$$\frac{4360 \,.\, 0.696}{0.1} = 303.5 \text{ mk pro Minute.}$$

73. Welcher Instrumente bedient man sich bei Benutzung der elektromagnetischen Stromwirkung zur Messung der Stromstärke?

Man benutzt hierzu Galvanometer und Boussolen. Als vorzügliches Galvanometer für diesen Zweck ist das auf S. 95 beschriebene Siemenssche Torsionsgalvanometer zu nennen.

Ein Galvanometer von M. Deprez zeigt Fig. 54. Im Innern des die Drahtspule tragenden Rahmens EE sind zwei

kleine Hufeisenmagnete AB und BC angebracht, welche genau gleich und bei B mit ihnen ähnlichen Schenkeln verbunden sind. Hufeisenmagnete sind deshalb gewählt, weil dieselben wegen der Annäherung der beiden Pole stärker und permanenter sind als Stabmagnete und daher auch durch den Strom kräftiger angeregt werden. Mit Rücksicht auf die Form dieser Magnete mußte die Galvanometerspule die rahmenartige Form erhalten. Jeder der beiden Magnete kann als ein Bündel aus unendlich vielen sehr kleinen

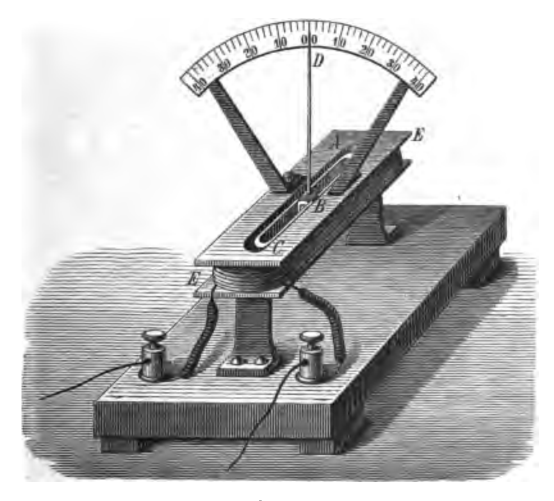


Fig. 54.

Magnetstäben betrachtet werden, welche parallel zu der Linie sind, auf welcher die Hufeisenmagnete in Verbindung stehen. Wenn der Spulendraht vom Strome durchlaufen wird, so suchen diese gedachten Magnetstäbchen eine zur Ebene der Spule senkrechte Stellung einzunehmen. Die Vorteile, welche aus dieser Anordnung resultieren, sind folgende:

1) Eine energischere Wirkung als diejenige, welche durch einen Magnetstab von dem gleichen Gewicht und derselben Konstruktion wie die beiden Hufeisenmagnete entwickelt werden würde.

2) Die Trägheit der magnetischen Wirkung ist sehr vermindert und folglich spricht der Zeiger schneller an.

3) Es resultiert eine größere Inklination als bei dem Magnetstabe, ohne daß der Magnet dem Einfluß der Spule entzogen zu werden brauchte.

Das System ist vertical an einem Seidenfaden aufgehängt und ergiebt einen Apparat, welcher das gewöhnliche Galvanometer an Empfindlichkeit bedeutend übertrifft, und ist das System leicht astatisch zu machen.

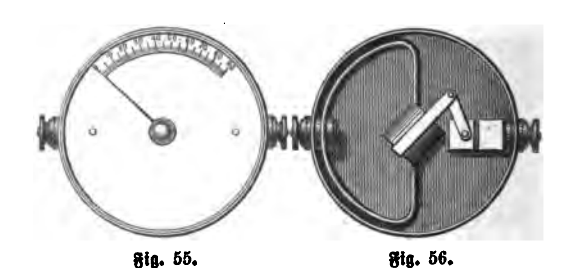


Fig. 55. Fig. 56.

M. Deprez' Ampèremeter in einer vom Mechaniker Charpentier abgeänderten Form zeigt Fig. 55 und 56; dasselbe ähnelt im Äußern einem Bourdonschen Manometer und eignet sich besonders für den praktischen Gebrauch bei weniger rücksichtsvoller Behandlung, indem es stark und kompakt konstruiert ist. In Fig. 56 ist der Magnet und die Spule zu sehen, welche letztere schräg im Magnetfelde steht, eine Anordnung, durch welche die Graduierung und der Ablenkungswinkel nach der einen Richtung für eine gegebene Stromstärke (Intensität) verdoppelt und in der andern verkleinert werden. Die bewegliche Nadel besteht aus einem Stück Pferdehaar und das ganze Instrument hat etwa 10 cm Durchmesser.

Das transportable Ausschlage-Galvanometer von Ayrton und Parry zeigt Fig. 57. Dieses kleine Instrument, welches als dead-beat galvanometer bezeichnet wird, besitzt eine einfach ausschlagende (nicht oscillierende) Nadel; dieses Resultat wird teils durch die große Leichtigkeit der Nadel und des Zeigers, teils durch deren Bewegung mittels eines sehr starken permanenten Magnets erreicht. Die Nadel ist balanciert und daher sind die Ausschläge derselben für jede Stellung des Instruments nahezu

gleich. Durch eine eigentümliche Anordnung der Drahtspulen ist bewirkt, daß die Ausschläge direkt proportional den Stromstärken sind. So kann man es z. B. erreichen, daß 1 Grad Ausschlag des Zeigers einer Stromstärke von 2 Ampère und der größte Ausschlag von 45° einer Stromstärke von 90 Ampère entspricht. Die Haupteigentümlichkeit des Instrumentes liegt jedoch im folgenden: Der dicke um die Nadel herum geführte Draht, durch welchen der Strom geht, besteht aus einem von zehn isolierten Drähten gebildeten Kabel. Jeder dieser Drähte hat den gleichen Widerstand, daher fließt durch jeden Draht derselbe Bruchteil ($\frac{1}{10}$) des Stromes. Durch die einfache Drehung eines Hebels können diese Drähte entweder hinter einander oder neben einander geschaltet werden. Nehmen wir an, die Drähte seien durch geeignete Drehung des Kommutators



Fig. 57.

hinter einander geschaltet und es werde der Strom eines galvanischen Elementes, etwa einer Daniellzelle, durch die Drähte geführt, wobei die elektromotorische Kraft E, aber nicht notwendigerweise der Widerstand des Elementes bekannt ist. Hierdurch wird der Zeiger um a^0 abgelenkt. Man nimmt nun den Stöpsel des mit dem Instrumente verbundenen Widerstandes von 1 Ohm heraus, worauf eine Abweichung von b^0 erhalten wird. Dann ist der Widerstand des Instrumentes, des Drahtes und der Zelle gleich

$$\frac{b^0}{a^0 - b^0} \text{ Ohm},$$

oder der Ausschlag des Zeigers wird hervorgebracht durch

$$E \frac{a^0 - b^0}{b^0} \text{ Ampère,}$$

wenn die Drähte hinter einander (auf Intensität) geschaltet sind, oder durch

$$E \frac{a^0 - b^0}{b^0} . 10 \text{ Ampère,}$$

wenn die Drähte neben einander (auf Quantität) geschaltet sind.

Als **Boussolen** sind zu nennen die **Tangentenboussole** und die **Sinusboussole**.

Die **Tangentenboussole** besteht aus einem kreisförmigen Rahmen, welcher mit isoliertem Kupferdrahte umwunden ist, durch die drei Stellschrauben eines Dreifußes genau vertical gestellt und mittels einer Mikrometerschraube horizontal so gedreht werden kann, daß die Ebene des Drahtringes genau in die Ebene des magnetischen Meridians zu liegen kommt. Im Zentrum des Ringes befindet sich eine kleine Magnetnadel. Wird durch den Drahtring ein elektrischer Strom geleitet, so entfernt sich die Nadel s n (Fig. 58) aus ihrer mit der Richtung des magnetischen Meridians zusammenfallenden Ruhelage N S und stellt sich im Ablenkungswinkel α in einer neuen, von der Stromstärke abhängigen Gleichgewichtslage ein. Bezeichnet man die Stromstärke mit J, die auf die Nadel wirkende magnetische Erdkraft mit M und mit a_1 und a_2 die als Drehkräfte wirksamen Komponenten von J und M, so hat man $a_1 = J \cos \alpha$ und $a_2 = M \sin \alpha$, folglich, da im Falle des Gleichgewichts $a_1 = a_2$,

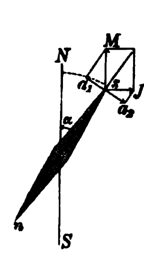


Fig. 58.

$$\frac{J}{M} = \frac{\sin}{\cos} \alpha = \operatorname{tg} \alpha.$$

Wenn nun für einen und denselben Ort, also bei gleicher magnetischer Erdkraft M, ein anderer elektrischer Strom von der Stärke J_1 die Nadel der Boussole um den Winkel α_1 ablenkt, so gilt die Gleichung:

$$\frac{J}{J_1} = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \alpha_1},$$

in welcher Gleichung das Prinzip der Tangentenboussole begründet ist.

Die **Sinusboussole** hat einen um seinen verticalen Durchmesser drehbaren Drahtring, mit welchem man der durch den Kreisstrom abgelenkten Nadel so lange folgt, bis dieselbe unter den kombinierten Wirkungen des Erdmagnetismus und Kreisstromes

ihre Gleichgewichtslage in der Ebene des ihrer Drehung folgenden Kreisstromes erlangt. Hierdurch wird, wie Fig. 59 illustriert, eine stärkere Ablenkung erreicht, indem die ganze Kraft des Kreisstromes ihre Wirkung auf die Drehung der Nadel ausübt, demnach $J = a_m$ ist, woraus folgt:

$$J = a_m \sin \alpha$$

und

$$\frac{J}{J_1} = \frac{\sin \alpha}{\sin \alpha_1}.$$

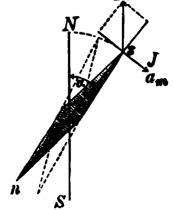


Fig. 59.

Das Elektrodynamometer dient zur direkten Bestimmung des Quadrates der Stromstärke, wodurch man diese Größe genauer erhält, als bei deren Herleitung aus der einfachen Stromstärke, indem bei deren Messung auf den bisher beschriebenen Instrumenten doch immerhin Fehler unterlaufen, welche durch das Quadrieren sich vergrößern. Im allgemeinen begründet sich das Elektrodynamometer auf die Wechselwirkung zweier Ströme (vergl. S. 45).

Fig. 60 illustriert schematisch das Torsionselektrodynamometer von Siemens & Halske*) zur Messung starker Ströme, welches als der beste Apparat dieser Art anzusehen ist. Im Prinzip ist dieses Instrument dem ältern Weberschen Elektrodynamometer entsprechend, welches aus einer innern festen und einer äußern drehbaren Stromrolle besteht. Um die Einwirkung des Erdmagnetismus oder des magnetischen Feldes dynamoelektrischer Maschinen möglichst unschädlich zu machen, ist die bewegliche Rolle aus einer einzigen Windung hergestellt. Es wird hierdurch nichts an Wirkung verloren, indem die Wirkung auf die bewegliche Rolle dem Produkte der Windungszahlen beider Rollen direkt proportional

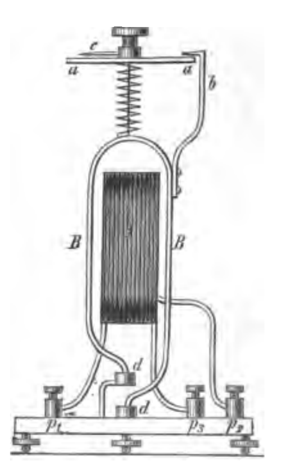


Fig. 60.

*) „Zeitschrift für angewandte Elektrizitätslehre", 1882, S. 57.

ist. Es ist daher gleichgültig, ob man die bewegliche und die feste Rolle aus gleichviel Windungen z. B. aus zehn bestehen läßt, oder ob man die bewegliche Rolle aus einer Windung und die feste Rolle aus hundert Windungen bestehen läßt. Durch die letztere Anordnung wird aber die Einwirkung des Erdmagnetismus auf die bewegliche Rolle gegenüber der Einwirkung der festen Rolle ganz zu vernachlässigen sein.

In dem abgebildeten Instrument ist die bewegliche Drahtwindung BB an einem Faden aufgehängt, während die Torsion durch eine besondere Torsionsfeder hervorgebracht wird. Letztere ist an der beweglichen Drahtwindung und an dem oberhalb des Instrumentes befindlichen Torsionsknopfe befestigt; der letztere ist mit einem Zeiger c versehen, welcher an einem Stellringe befestigt, der den Torsionskopf umgiebt. Vermöge dieser Einrichtung kann man bewirken, daß die Nullstellung des Torsionszeigers mit derjenigen der Windung genau zusammenfällt. Die Stellung der Windung wird mittels eines daran befestigten Index b abgelesen. An der dem Nullpunkt gegenüberliegenden Stelle der Skala a befindet sich ein mittels eines ränderierten Kopfes drehbarer Stift, um den Faden, woran die bewegliche Drahtwindung hängt, auf- und abzuwickeln. Die Stromzuführung zu der beweglichen Windung erfolgt durch zwei übereinander in der Drehaxe befindliche Quecksilberkontakte d und d.

Die feste Rolle A besteht aus zwei verschiedenen Drahtpartien, von denen die eine aus wenig Windungen eines dicken, die andere aus mehr Windungen eines dünnen Drahtes besteht. Schaltet man die Klemmen p_1 und p_3 in den Stromkreis ein, so kann man Ströme von etwa 20 bis 70 Ampère messen; schaltet man aber die Klemmen p_1 und p_2 ein, so eignet sich das Instrument zur Messung von 2 bis 20 Ampère.

Ist i die mit dem Instrument gemessene Stromstärke und A derjenige Torsionswinkel, welcher den Index auf den Nullpunkt zurückführt, so ist die Gleichung des Instrumentes $i = c\sqrt{A}$, worin c die Konstante des Instrumentes darstellt, welche an jedem Instrumente angegeben ist, so daß man den Torsionswinkel sofort in Ampères übertragen kann.

Zwölftes Kapitel.

Widerstandsmessungen.

74. Wie werden die Widerstandsmessungen mit der Siemens-Einheit ausgeführt?

Außer der schon auf S. 17 erwähnten Siemens-Einheit bedient man sich häufig der sogenannten Stöpselungsrheostaten und der Walzenrheostaten; ferner auch der Wheatstoneschen Schleife. Fig. 61 illustriert einen Stöpselungsrheostaten; derselbe besteht aus den Metallplatten a, a_1, a_2, a_3, a_4, von denen jede einzelne durch Einstecken eines Metallpfropfens, d. i. durch Stöpselung, in die Löcher I bis V mit der Metallplatte b leitend verbunden werden kann. Die Platten a, a_1, a_2 u. s. w. sind durch Drahtrollen (c bis c_4) von bestimmten Widerstande (in Ohms oder für telegraphische Zwecke in Meilen) verbunden. Wird in I gestöpselt, so geht der Strom von dem Anfangspunkte A über die Platte a und die Platte b nach dem Ende E, ohne einen besondern Widerstand durchlaufen zu müssen. Wird dagegen in V gestöpselt, so muß der Strom, um von A bis E zu gelangen, die sämtlichen Widerstandsrollen durchlaufen. Je nach der Einsteckung des Stöpsels in eines der Löcher von I bis V und je nach der Stärke der Widerstände in den einzelnen Rollen kann man einen größern oder kleinern Widerstand von bestimmter Stärke herstellen.

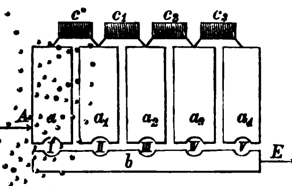


Fig. 61.

75. Was ist ein Rheostat?

Der Walzenrheostat, welcher zum Messen kleinerer Widerstände dient, besteht aus einer Walze von nichtleitendem Material, welche in ihrer ganzen Länge mit einer spiralförmigen Nut versehen ist und auf welche ein Neusilberdraht von bekanntem Widerstande, der sich auf einer zweiten, parallelen Walze befindet, in mehr oder weniger Windungen aufgewunden wird. Das eine Ende dieses Drahtes steht mit der Axe der gerieften Walze in Verbindung, während der zweite Kontakt durch ein Metallröllchen gebildet wird, das sich längs der Walze auf einer Stange verschiebt und dabei

sich fest an den Draht anlegt, um denselben beim Aufwinden zu führen.

76. Welche Einrichtung hat die Wheatstonesche Brücke oder Schleife?

Ein sehr geeignetes Mittel zur Vergleichung eines unbekannten Widerstandes mit einem bekannten ist die Wheatstonesche Brücke oder Schleife, deren Wirkungsweise auf dem Kirchhoffschen Gesetze (vergl. S. 40) beruht.

Fig. 62 illustriert diese Art der Widerstandsmessung. In der Schleife ABCD ist einerseits ein Rheostat R, andrerseits ein unbekannter Widerstand x, z. B. ein galvanisches Element, eine dynamoelektrische Maschine, eine Telegraphenleitung u. s. w., eingeschaltet, wovon der Widerstand ermittelt werden soll. Es wird bei dem Versuche der Widerstand W_2 von R so lange reguliert, bis sich die Nadel eines in die Brücke BD eingeschalteten Galvanometers G auf Null eingestellt hat, d. h. bis in diesem Zweige der Brücke die Stromstärke I gleich null ist; alsdann ist nach der Figur:

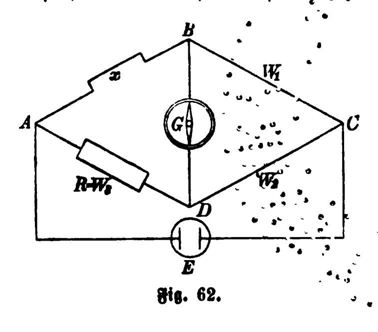


Fig. 62.

$$W_1 x = W_2 W_3,$$ und da nach der Konstruktion $$W_1 = W_2,$$ so ergiebt sich $$x = W_3,$$

d. h. man liest am Rheostaten die Größe des zu ermittelnden Widerstandes direkt ab. Bei der Messung großer Widerstände werden in die beiden übrigen Zweige der Schleife ebenfalls Rheostaten eingeschaltet. Ist in einem Falle z. B. R_1 auf $W_1 = 100$ Meilen, R_2 auf $W_2 = 1$ Meile und R_3 auf $W_3 = 100$ Meilen eingestellt, so ergiebt sich:

$$x = \frac{W_1 W_3}{W_2} = 10\,000 \text{ Meilen.}$$

Bei der Messung der Widerstände isolierter Umhüllungen sind in der Praxis noch viel größere Widerstände zu ermitteln, indem selbst die besten Isolatoren, wie Kautschuk und Guttapercha, nicht

vollkommen die damit umhüllten Drähte und Kabel zu isolieren vermögen. So hatte z. B. das erste atlantische Kabel bei einer Länge von 463 geographischen Meilen nach dem Legen in der isolierenden Hülle einen Widerstand von 637 Millionen Siemens-Einheiten pro Meile.

77. Auf welchem Prinzip beruht das Rheonam?

Das Rheonam von Prof. E. Fleischl ist eine besondere Form der Wheatstoneschen Brücke. Es kann mit diesem Instrument die Intensität des Stromes, der durch das Galvanometer geht, variiert werden, so daß man den Strom in der wünschenswerten Weise regulieren kann. Fig. 63 illustriert das Prinzip. DD ist eine dicke Scheibe aus Glas oder Ebonit, welche von einem Kupferringe E umgeben ist, welcher auf jedem Quadranten eine Teilung von 0° bis 90° hat. Die Scheibe ruht auf einem dreifüßigen Stativ mit Stellschrauben und ist mit einer kreisrunden, mit Quecksilber gefüllten Furche R versehen. A ist eine Alhidade von isolierendem Material, die etwas über der Scheibe angebracht ist und sich um das Zentrum derselben drehen läßt; diese Alhidade ist an jedem Ende mit einem amalgamierten Stifte versehen, welcher in die Quecksilberrinne eintaucht. An den Enden 0 0 desselben Durchmessers schließen sich die Drähte an, welche von der Batterie p ausgehen, und in

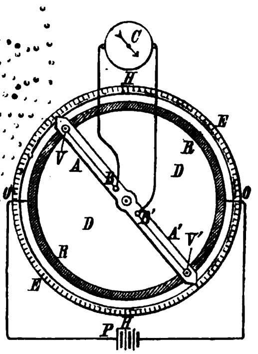


Fig. 63.

den Klemmen v v[1] sind die Drähte eines Galvanometers eingefügt, nachdem dieselben durch die Stücke B B[1] gegangen sind.

Steht die Alhidade A perpendikular zum Durchmesser 0 0, so ist der in das Galvanometer gehende Strom null, dagegen ist die Stromstärke im Maximum, wenn die Alhidade im Durchmesser 0 steht. Für Zwischenstellungen der Alhidade ist die Intensität proportional dem Winkel, welchen die Alhidade mit dem Durchmesser HH einschließt.

Bezeichnet man die konstante Stromstärke der Batterie mit J, die des abgezweigten Stromes, welcher durch das Instrument und Galvanometer geht, mit i, den Widerstand dieses Zweigstromes

mit p und die Widerstände der zwischen den Klemmen der Brücke und den Teilspitzen des Hauptstromes befindlichen Quecksilberbogen mit r_1, r_2, r_3, r_4, so ist nach Kirchhoffs Gesetz (vergl. S. 40):

$$i = J \frac{r^3 r^2 - r^1 r^4}{(r_1 + r_3)(r_2 + r_4) + p(r_1 + r_2 + r_3 + r_4)}.$$

Im Rheonam ist

$$r_2 = r_3 \text{ und } r_1 = r_4,$$

wird nun der Widerstand im halben Ringe mit R bezeichnet, so ist

$$R = r_1 + r_2 = r_3 + r_4,$$

woraus folgt

$$i = J \frac{r_2 - r_1}{R + 2p}.$$

Geht man nun von der Kompensationsstellung aus, wo $r_2 = r_1$ ist, so wächst die Intensität des Zweigstromes proportional zu dem Bogen, dessen Brücke verstellt worden ist. Mit einer Sinusboussole läßt sich dies leicht sicherstellen.

Wenn $r_1 = 0$ ist, so wird i ein Maximum und man kann schreiben:

$$J = i \frac{R}{R + 2p}.$$

Ist $p = \frac{R}{2}$, so ist $i = \frac{J}{2}$. Dieser Wert wird erhalten, wenn man der Quecksilberfurche einen 30mal größern Querschnitt als dem kupfernen Leiter giebt und das Galvanometer ein Viertel des Widerstandes hat, welchen der Quecksilberring besitzt.

Das Rheonam läßt sich, wie leicht begreiflich, für vielerlei Zwecke benutzen.

78. Wie ist das Siemenssche Differentialvoltameter beschaffen?

Zur Vergleichung der Widerstände zweier Stromkreise läßt sich auch das Siemenssche Differentialvoltameter (Fig. 64) benutzen. Diese Widerstände bilden zwei Abzweigungen R, R′ von einem Elektrizitätserzeuger B aus, dessen Pole durch die Klemmen a und a′ mit den beiden Kontakten eines cylindrischen Kommutators C verbunden sind. Der Kontakt 1 steht mit der Klemme b′ in Verbindung, von welcher die zu untersuchenden Stromkreise ausgehen. Am Ende des letztern sind zwei von den Platindrähten des Voltameters angesetzt, während ein vom andern Kontakt ausgehender Draht, der sich bei b teilt, zu den anderen beiden Platindrähten des Voltameters führt. Das Voltameter besteht aus zwei

Glasröhren d, d′ von 2,5 mm lichter Weite, welche vertical auf einem Brett T befestigt sind; nach unten erweitern sich dieselben auf 6 mm und sind mit einem paraffingetränkten Holzpfropfen luftdicht verschlossen, durch welchen zwei Platindrähte auf 25 mm Länge in das Innere gehen. Die obere Öffnung der Röhren ist für gewöhnlich durch kleine Kautschukscheiben verschlossen, welche an den horizontalen Armen zweier Winkelhebel mit gemeinschaftlicher Drehaxe sitzen. Diese Winkelhebel werden für gewöhnlich durch die Gewichte e, e′ abwärts gegen die oberen Röhrenden gezogen, so daß sie dieselben mit den Kautschukscheiben schließen; um den Verschluß zu lüften drückt man die oberen Arme f, f′ der Winkelhebel zusammen. Neben den Voltameterröhren d, d′ sind zwei weitere Glasröhren A, A′ angebracht, welche oben mit leicht abnehmbaren Korkstöpseln versehen sind und mit den unteren Enden durch Kautschukschläuche c, c′ mit den Voltameterröhren kommunizieren. Endlich sind noch längs der Voltameterröhren zwei nach gleichen Volumenteilen der letzteren geteilte Skalen angebracht, deren Nullpunkt dem höchsten Punkte der Röhren entspricht.

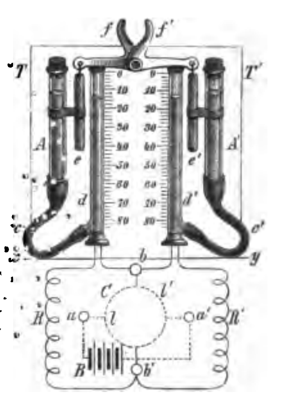


Fig. 64.

Beim Gebrauche befestigt man zuerst alle Drähte in den betreffenden Klemmen, stellt den Kommutator so, daß der Strom unterbrochen ist, und gießt dann verdünnte Schwefelsäure in die Röhren A, A′, bis die Flüssigkeitssäule in den Voltameterröhren den Nullpunkt erreicht hat; hierauf verstöpselt man die Röhren A, A′ und stellt den Kommutator auf den Stromschluß ein.

Während der Elektrolyse wird der Kommutator alle zehn Sekunden um 180° gedreht, um durch das periodische Umkehren der Stromrichtung die Polarisation in den Voltameterrröhren auszugleichen. Man läßt die Zersetzung so lange andauern, bis in den beiden Röhren sich genügende Mengen Knallgas gesammelt haben. Die Volumina v, v′ sind der Stärke der beiden Zweigströme, zu deren Stromkreis die Röhren d, d′ gehören, direkt, den entsprechenden Widerständen also indirekt proportional. Sind also R, R′ die in

die beiden Stromkreise eingeschalteten, zu vergleichenden Widerstände und a, a′ die konstanten Widerstände der Stromkreise selbst, so ist:

$$v' (R' + a') = v (R + a)$$

also

$$\frac{R' + a'}{R + a} = \frac{v}{v'}.$$

Kennt man a und a′ nicht, so müssen diese durch zwei Vorversuche bestimmt werden; zu dem Zweck schaltet man jedesmal anstatt R und R′ zwei bekannte Widerstände ein und verfährt dann in der oben angegebenen Weise, um das Verhältnis der dabei entwickelten Gasvolumina v, v′ zu bestimmen. Seien b′ zwei beim ersten dieser Versuche eingeschaltete gleiche Widerstände und m′ das dabei beobachtete Verhältnis der beiden Gasvolumina, b″ und m″ dieselben Größen beim zweiten Versuche, so hat man:

$$(m'' - m') a = (m' - 1) b' - (m'' - 1) b''$$

$$(m'' - m') a' = m'' (m' - 1) b' - m' (m'' - 1) b''.$$

Dreizehntes Kapitel.

Praktische Anwendung der Meßmethoden.

79. Auf welche Weise läßt sich die Wheatstonesche Brücke zur Bestimmung der elektromotorischen Kraft eines galvanischen Elementes benutzen?

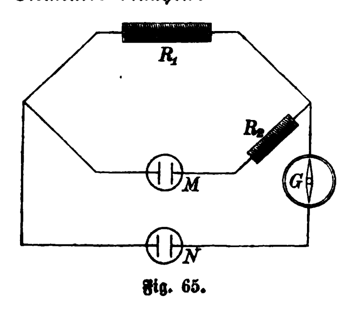


Fig. 65.

Betrachtet man als Maßeinheit die elektromotorische Kraft eines Daniell-Elementes, so kann folgendes Verfahren Anwendung finden:

In der durch Fig. 65 illustrierten Anordnung sei M ein Daniell-Element (vergl. S. 84) mit der bekannten elektromotorischen Kraft E; N ein anderes, beliebiges galvanisches Element mit der noch unbekannten elektromotorischen Kraft E_1; R_1 und R_2 sind Rheostaten; G ist ein Galvanometer; I_1, I_2 und I_3 sind die Stromstärken

in den betreffenden Teilen des Schließungskreises; der Pfeil zeigt die Stromrichtung an.

Nach dem Kirchhoffschen Gesetze (vergl. S. 40) bestehen die Gleichungen:

$$E = I_1 W_1 = I_2 W_2 \text{ und } E_1 = I_1 W_1 + I W.$$

Durch Regulierung der Widerstände wird die Galvanometernadel auf Null eingestellt, so daß $I = 0$ und $I_1 = I_2$ wird. Nach der ersten Gleichung ist demnach

$$I_1 = \frac{E}{W_1 + W_2} \text{ und } E_1 = I_1 W_1.$$

Setzt man in der letzten Gleichung den vorhergehenden Wert von I_1 ein, so ergiebt sich:

$$E_1 = \frac{W_1 E}{W_2 + W_2}.$$

80. Wie wird die zur Erzeugung eines Stromes erforderliche Kraftleistung in Arbeitseinheiten ausgedrückt?

Ist die Stromstärke I, der Widerstand W und die elektromotorische Kraft E, so ist die Arbeit des Stromes

$$I^2 W = I E \text{ Ergs},$$

wobei als Erg eine Arbeit bezeichnet wird, welche die in Centimeter, Gramm und Sekunde ausgedrückte elektrische Krafteinheit, das Dyn, auf einem Wege von 1 cm leistet. Unter Dyn wird dabei eine Kraft verstanden, welche der Masse eines Gramms eine Beschleunigung von 1 cm in der Sekunde erteilt, folglich ist eine Kraft von 1 gr, welche der Masse eines Gramms eine Beschleunigung von 9,809 m = 980,9 cm erteilt, gleich 980,9 Dyns und somit eine Kraft von 1 kg gleich 1000 . 980,9 = 980 900 Dyns, also die Arbeit, durch welche 1 kg auf die Höhe von 1 m = 100 cm leistet, d. i. das Meterkilogramm, gleich 100 . 980 900 = 98 090 000 Ergs. Sind also I, W und E in Centimetern, Gramm und Sekunden ausgedrückt, so ist

$$\frac{I^2 W}{98\,090\,000} = \frac{I E}{98\,090\,000}$$

gleich der Stromarbeit in Meterkilogrammen. Sind dagegen diese Größen in Ampères, Ohms und Volts ausgedrückt, so entspricht $I^2 W$ einer Zahl von

$$(1/10)^2 . 10^9 . I^2 W = 10^7 I^2 W \text{ Kongreßeinheiten},$$

und deshalb ist alsdann die Stromarbeit:

$$L = \frac{10^7 I^2 W}{98090000} = \frac{10^7 I^2 W}{98090000} = \frac{I^2 W}{9,809} = \frac{I E}{9,809} \text{ Meterkilogramm.}$$

Will man die Stromarbeit in Pferdestärken ausdrücken, so ist die Anzahl der Meterkilogramme noch durch 75 (für englische Pferdestärken durch 76,041) zu dividieren.

Die Wärmemenge per Sekunde, welche einer Pferdestärke entspricht, ergiebt sich durch Division des mechanischen Wärmeäquivalents (424) in die der Pferdestärke entsprechende Zahl von Sekundenmeterkilogrammen.

81. Wie wird die Stromstärke und elektromotorische Kraft einer dynamoelektrischen Maschine bestimmt?

Es wird der Widerstand W nach der durch Fig. 65 illustrierten Methode bestimmt und die zum Betriebe erforderliche Arbeit mittels eines Dynamometers gemessen, worauf aus den auf S. 103 aufgestellten Formeln folgt:

$$L = \frac{I^2 W}{9,809} = \frac{I E}{9,809},$$

und daher

$$I = 3,132 \sqrt{\frac{L}{W}} \text{ und } E = \frac{9,809\ L}{I}.$$

82. Welches Dynamometers kann man sich bei der vorerwähnten Messung bedienen?

Man kann hierzu das von Hefner-Alteneck konstruierte Dynamometer (Fig. 66) benutzen. Dasselbe wird in bequemer Weise direkt am Treibriemen der Maschine angebracht und läßt aus der Differenz der Spannungen der beiden Riemenhälften die übertragene Kraft berechnen. Die beiden Hälften a b und c d des Treibriemens gehen zwischen den Rollen 1, 2, 3, 4 hindurch, welche dazu dienen, die beiden Riemenhälften beim Aus- und Eintritt in den Apparat einander zu nähern, wogegen die Zentralrolle 7 den Zweck hat, die Riemenhälften auseinanderzuhalten, während die Rollen 5 und 6 die Gleichheit der Winkel beiderseits zwischen den Trums erhalten. Das Gewicht der Zentralrolle 7 wird durch das auf einem Hebel h sitzende Gewicht p ausgeglichen, indem dieser Hebel mit dem oszillierenden Rahmen dieser Rolle verbunden ist. Sobald der am Gegengewichtshebel befindliche Zeiger auf einen bestimmten Punkt einer bei m befindlichen Skala einspielt, hat der Apparat die richtige

Lage und alsdann ist die Kraft, welche die Rolle 7 aus ihrer mittlern Stellung zu drängen sucht, der Spannungsdifferenz der beiden Riemenhälften proportional. Die Feder g, deren Spannung durch die Skala S angezeigt wird, gestattet mittels der Stellschraube v, die Zentralrolle in die der Marke bei m entsprechende Stellung

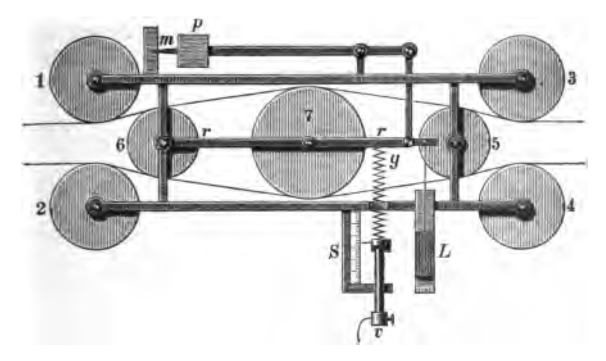


Fig. 66.

zurückzuführen und zugleich giebt alsdann die Federspannung die Spannungsdifferenz der beiden Riemenhälften an. Durch das bei L befindliche Gewicht wird die Wirkung der Feder unterstützt. Multipliziert man das dieser Spannung entsprechende, in Kilogrammen angegebene Gewicht mit der in Metern angegebenen Riemengeschwindigkeit, so erhält man die vom Riemen übertragene, zum Betrieb der Maschine dienende Arbeit in Meterkilogrammen.

Vierter Abschnitt.

Von den Elektrizitätserzeugern.

Vierzehntes Kapitel.

Die Reibungs- und Influenzmaschinen.

83. Durch welche Mittel wird die Reibungselektrizität erzeugt?

Zur Erzeugung der Reibungselektrizität im kleinen benutzt man Elektrophore; um größere Mengen Elektrizität zu erzeugen werden Elektrisiermaschinen angewendet, bei denen man die Reibungsmaschinen von den Influenzmaschinen unterscheidet.

84. Wie ist ein Elektrophor beschaffen und wie ist dessen Wirkungsweise?

Der Elektrophor besteht aus einem runden dünnen Harzkuchen, der (nach Böttchers Vorschrift) aus einem zusammengeschmolzenen Gemisch von 3 T. Schellack, 5 T. Mastix, 2 T. venetianischem Terpentin und 1 T. in Steinkohlenteer gelöstem Kautschuk besteht. Dieser Harzkuchen wird in eine flache cylindrische Form aus Blech, oder mit Stanniol belegtem Holz oder Carton gegossen und nach dem Erstarren zu beliebiger Zeit durch Schlagen mit Pelzwerk, gewöhnlich einem Fuchsschwanze, elektrisch gemacht, worauf man durch Auflegen eines metallnen Deckels, der momentan ableitend berührt, dann aber isoliert, d. i. an seidenen Schnüren oder an einem Glasstabe die Elektrizität abnimmt und beliebig, etwa zum allmählichen Laden einer Leidener Flasche, verwendet. Die Wirkungsweise des Elektrophors besteht darin, daß der Harzkuchen durch das Peitschen mit dem Pelzwerk ein negatives Potential erhält. Beim Auflegen wird der Deckel —

wie man annimmt — durch Verteilung oder Influenz elektrisiert, indem die positive Elektrizität sich an der mit dem Harzkuchen in Berührung befindlichen Seite, die negative an der entgegengesetzten Seite ansammelt, und durch die Berührung des Deckels mit der Hand, d. i. durch dessen Verbindung mit der Erde wird die negative Influenzelektrizität abgeleitet, so daß die positive im Deckel zurückbleibt, deren Potential gleich dem Potential der Harzkuchenelektrizität ist.

85. Was ist über die gewöhnliche Elektrisiermaschine zu bemerken?

Die gewöhnliche Elektrisiermaschine oder Reibungsmaschine hat eine solche Einrichtung, daß in der Nähe eines isolierten Leiters, der als Konduktor bezeichnet wird und der cylindrisch geformt mit halbkugelförmigen Enden eine verhältnismäßig große Oberfläche besitzt, ein Glascylinder, oder bei neueren Maschinen eine Glasscheibe auf einer in Umdrehung zu versetzenden Welle angebracht ist; bei der Umdrehung wird die Glasfläche durch Lederkissen gerieben, die mit Quecksilberamalgam bestrichen sind. Der Konduktor, welcher an dem der geriebenen Glasfläche zugekehrten Ende mit Saugspitzen versehen ist, wird in ähnlicher Weise wie der Deckel des Elektrophors mit positiver Influenzelektrizität geladen, indem die negative Elektrizität des Reibzeuges nach der Erde abgeleitet wird.

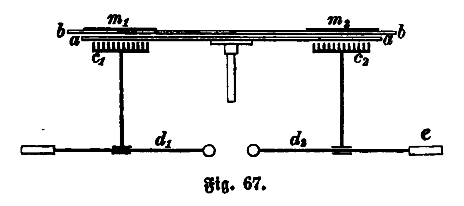


Fig. 67.

86. Wie ist die Induktions- oder Influenzmaschine angeordnet und wie wird deren Wirkungsprinzip erklärt?

Die bekannteste Induktions- oder Influenzmaschine ist die nach ihrem Erfinder Holtz benannte Holtzsche Maschine. Dieselbe besteht aus zwei parallelen in geringer Entfernung von einander angebrachten Glasscheiben, von denen die eine a a in Fig. 67 am Ende einer rotierenden horizontalen Welle sitzt, während die andere b b fest ist. An dieser letztern Scheibe sind an den Stellen

m_1 m_2 kurze Stanniolstreifen aufgeklebt, welche bogenförmig gekrümmt sind und einander diametral gegenüberliegen. Einer dieser Streifen wird elektrisiert, was gewöhnlich mittels einer geriebenen Platte aus Hartgummi geschieht, und hierauf wird die bewegliche Scheibe a a in rasche Umdrehung versetzt. Durch diese Rotation wird an den Kugeln der mit den Saugspitzen c_1 c_2 versehenen Konduktoren d_1 d_2 eine Potentialdifferenz hervorgerufen. Mittels der hölzernen Handgriffe e e kann man die beiden Konduktorkugeln in eine gewisse Entfernung von einander stellen und so die Potentialdifferenz auf einen Maximalwert bringen, der nicht überschritten werden kann. Diese Potentialdifferenz ist bedeutend größer als diejenige, welche man anfangs durch das Elektrisieren des Stanniolstreifens erzeugte.

Die Wirkungsweise dieser Maschine beruht auf dem von Rieß aufgestellten Prinzip der Doppelinfluenz und zwar in der folgenden Weise:

Der zu Anfang mittels der geriebenen Hartgummiplatte elektrisierte Stanniolstreifen m_1 wird bewirken, daß die Glasscheibe a an der Stelle, die sich zwischen dem elektrisierten Stanniolstreifen und den Saugspitzen c_1 des Konduktors d_1 befindet, positiv elektrisch wird und zwar erfolgt diese positiv elektrische Erregung der Glasscheibe beiderseits, nämlich nach der Seite von m_1 hin durch die unmittelbare Influenz und auf der andern Seite dadurch, daß gleichzeitig der Leiter c_1 d_1 influenziert wird und seine positive Influenzelektrizität aus den Saugspitzen c_1 auf die Glasscheibe übergehen läßt, wodurch nicht nur die daselbst zuerst erregte negative Influenzelektrizität neutralisiert wird, sondern auch noch ein Überfluß positiver Influenzelektrizität sich ansammelt, wobei selbstverständlich die negative Influenzelektrizität des Konduktors d_1 nach der Erde abgeleitet werden muß. Dieser etwas komplizierte Vorgang wird als Doppelinfluenz bezeichnet und derselbe erneuert sich fortwährend, wenn die Glasscheibe a in Rotation sich befindet. Denkt man sich nun den Stanniolstreifen m_2 infolge des positiv elektrischen Zustandes der Glasscheibe ebenfalls als positiv elektrisch, so ist leicht einzusehen, daß während der Rotation der Scheibe a ein Strom positiver Elektrizität durch den Konduktor c_2 d_2 nach der Erde abgehen wird, sobald sich dieser Konduktor ebenfalls in leitender Verbindung mit der Erde befindet. Sind nun aber die beiden Konduktoren d_1 d_2 nicht zur Erde abgeleitet, sondern mit ihren Kugeln in eine solche Entfernung von einander gestellt, daß ihre Potentialdifferenz diesen Abstand zu überwinden vermag, so wird während der Rotation der

Glasscheibe a zwischen diesen beiden Konduktorkugeln eine fortdauernde Funkenentladung stattfinden, welche von den Influenzelektrizitäten der beiden Konduktoren hervorgerufen wird.

Eine der neuesten, einfachsten und dabei wirksamsten Influenzmaschinen ist die von James Wimshurst in London. Diese in Fig. 68 dargestellte Maschine ist mit zwei aus gewöhnlichem Fensterglas bestehenden Scheiben von etwa 38 cm Durchmesser versehen,

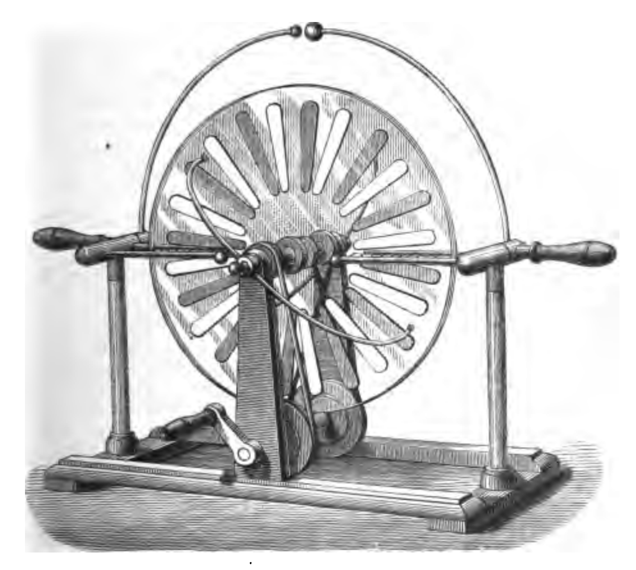


Fig. 68.

welche derart auf einer festen horizontalen Spindel sitzen, daß sie mit etwa 3 mm Zwischenraum nach entgegengesetzten Richtungen in rasche Umdrehung versetzt werden können, was von einer unten befindlichen Welle mittels einer offenen und einer gekreuzten Schnur durch Umdrehung einer Kurbel geschieht; hierbei haben beide Scheiben dieselbe Umdrehungsgeschwindigkeit. Beide Scheiben sind gut gefirnißt und auf der äußern Seite von jeder sind zwölf radiale sektorenförmige Platten aus dünnem Messingblech in gleichen Entfernungen

von einander aufgekittet; die Platten der einen Scheibe bilden die Induktoren für die der andern Scheibe. Je zwei in einem Durchmesser gelegene Sektoren jeder Scheibe kommen bei jeder Umdrehung zweimal mit einem Paar feiner Drahtbürsten in Berührung, welche an den Enden einer gekrümmten Stange sitzen, die in der Mitte ihrer Länge durch eines der vorstehenden Enden der festen Scheibenaxe getragen wird.

Die Stellung dieser beiden Bürsten ist mit Bezug auf die beiden festen Kollektorkämme veränderlich, indem jedes Paar bis zu einer gewissen Winkeldistanz um die Axe gedreht werden kann, und es giebt für diese Bürsten eine Stellung der Maximalwirkung, welche ungefähr 45° von den Kollektorkämmen und 90° zwischen den Bürstenpaaren ist.

Die festen Konduktoren bestehen aus zwei Gabeln mit radial gegeneinandergerichteten Kollektorkämmen, zwischen denen die Scheiben rotieren. Diese Kollektorkämme stehen mit den Konduktorkugeln durch im Viertelkreis gekrümmte Stangen in Verbindung; die gegenseitige Entfernung dieser Kugeln läßt sich mittels Handgriffe aus Ebonit regulieren. Diese Maschine erregt sich vollständig von selbst und soll schon nach drei Umdrehungen der Kurbel ihre volle Kraft auch in sehr feuchter Luft entwickeln. Während bei anderen Influenzmaschinen die Konduktorkugeln während des Betriebs ihre Polarität leicht wechseln, soll das bei dieser Maschine durchaus nicht der Fall sein.

Fünfzehntes Kapitel.

Die galvanischen Elemente.

87. Auf welche Weise wird die Berührungs- oder Kontaktelektrizität erregt und wie unterscheidet dieselbe sich von der Reibungselektrizität?

Die Erregung dieser Elektrizität erfolgt dadurch, daß zwei verschiedenartige Körper, oder auch zwei in verschiedenen Zuständen befindliche gleichartige Körper mit einander in Berührung oder Kontakt gebracht werden, wobei der eine Körper positiv, der andere negativ elektrisch wird. Je nach der Beschaffenheit des einen der

berührenden Körper kann der andere bestimmt angenommene Körper in den positiven oder negativen elektrischen Zustand eintreten. Bei guten Elektrizitätsleitern ist diese Wirkung stärker als bei schlechten. Bei momentaner Berührung ist der größte Teil der erregten + oder — Elektrizität an der Berührungsstelle proportional zu deren Flächengröße gebunden. Zwei Körper werden stets und immer wieder durch gegenseitige Berührung elektrisch erregt, vorausgesetzt, daß denselben vor der neuen Berührung ihre Elektrizität wieder entzogen wurde. Die Berührungs- oder Kontaktelektrizität wird auch nach ihrem Entdecker, dem italienischen Arzte Luigi Galvani (1789), als galvanische Elektrizität, oder nach dessen Landsmann Alessandro Volta, welcher 1792 die Lehre von der Berührungselektrizität begründete, voltaische Elektrizität genannt. Aus demselben Grunde wird diese Lehre auch als Galvanismus oder Voltaismus bezeichnet.

88. Welche Körper eignen sich besonders zur Erregung der Kontaktelektrizität und in welcher Reihenfolge stehen dieselben im elektrischen Gegensatze?

Zur Erzeugung der Kontaktelektrizität sind besonders die Metalle geeignet und zwar liefert von je zwei mit einander in Berührung gebrachten Metallen das eine positive und das andere negative Elektrizität, indem sich hierbei, ganz ähnlich wie bei der Reibungselektrizität, die vorher gebundenen und daher im Gleichgewicht oder im statischen Zustande befindlichen beiden Elektrizitätsarten in + E und — E trennen. Den mehr oder minder starken elektrischen Gegensatz zweier elektrisch erregten Körper nennt man die elektrische Spannung und mit Bezug hierauf hat man die Metalle und andere feste Körper zu einer sogenannten Spannungsreihe geordnet, in welcher jeder einzelne Körper in Berührung mit irgend einem andern ihm in der Reihe folgenden Körper positiv, der folgende aber negativ elektrisch wird, und zwar tritt die elektrische Erregung oder Spannungsdifferenz zwischen beiden Körpern um so stärker auf, je weiter dieselben in der Reihe aus einander stehen. Bei der Anordnung einer solchen Reihe ist das Verfahren bei der elektrischen Erregung, ferner die innere und äußere Beschaffenheit des sonst gleichen Materials, die Verschiedenheit der Temperaturen u. s. w. maßgebend, so daß je nach Umständen die Ordnung in der Reihenfolge sich etwas anders stellen kann. Eine derartige Spannungsreihe ist die folgende:

+ Zinkamalgam	Messing	Quecksilber
Zink	Nickel	Gold
Blei	Wismuth	Koks
Zinn	Kupfer	Platin
Eisen	Antimon	Kohle
Aluminium	Silber	— Braunstein.

Übrigens ist noch zu bemerken, daß oxydierte Metalle sich anders verhalten als reine Metalle. Die in dieser Tabelle aufgeführten Körper nennt man Leiter erster Ordnung.

Nach dieser Reihe wird z. B. Kupfer in Kontakt mit Blei stärker negativ elektrisch als in Berührung mit Eisen, noch stärker negativ elektrisch mit Zinn und noch stärker mit Zink, dagegen wird es positiv elektrisch in Berührung mit Silber, stärker mit Gold und noch stärker mit Platin oder gar mit Kohle. Es wird diese Thatsache als das erste Gesetz der Spannungsreihe bezeichnet.

Als zweites Gesetz der Spannungsreihe gilt die Thatsache, daß die Spannungsdifferenz zwischen zwei Gliedern der Spannungsreihe bei durchaus gleicher Temperatur ganz dieselbe ist, gleichviel ob die Glieder unmittelbar mit einander in Berührung gebracht, oder durch andere, beliebig viele und beliebig angeordnete Glieder der Spannungsreihe indirekt mit einander leitend verbunden sind.

Wenn also z. B. das eine mal eine Kupferplatte direkt mit einer Zinkplatte in Berührung gebracht wird, das andere mal aber zwischen die Kupfer- und Zinkplatte eine beliebige Anzahl von so oder so geordneten Platten aus anderen Substanzen aus der Spannungsreihe gelegt werden, so werden die auf den beiden Endplatten, d. h. auf der Kupfer- und auf der Zinkplatte sich ansammelnden Kontaktelektrizitäten in beiden Fällen dieselbe Beschaffenheit und Spannungsdifferenz besitzen.

89. Auf welche Weise kann man mit der Kontaktelektrizität elektrische Ströme erregen?

Die schnell vorübergehenden elektrischen Erregungen, welche durch den Kontakt zweier Körper aus der obigen Spannungsreihe hervorgerufen werden, sind als momentane Elektrizitätsströme aufzufassen. Die Thatsache, daß in einer beliebigen Reihenfolge (einem Cyklus) von beliebig vielen einander berührenden Leitern erster Ordnung die elektrischen Spannungen sich im statischen Gleichgewichte befinden,

läßt sich auch auf das zweite Gesetz der Spannungsreihe (vergl. S. 112) begründen. Erst durch Einschaltung eines Leiters zweiter Ordnung, d. i. einer die Elektrizität leitenden chemisch zusammengesetzten Flüssigkeit wird das elektrische Gleichgewicht zwischen den Leitern erster Ordnung infolge der nunmehr stattfindenden chemischen Wirkungen dauernd aufgehoben und eine kontinuierliche elektrische Kraftwirkung, d. i. ein kontinuierlicher elektrischer Strom hervorgebracht.

Bei der direkten Berührung von beispielsweise einer Kupfer- und einer Zinkplatte (Fig. 69) wird die negative Elektrizität auf dem Kupfer und die positive Elektrizität auf dem Zink nach dem ersten Gesetze der Spannungsreihe abgeschieden. Anders gestaltet sich

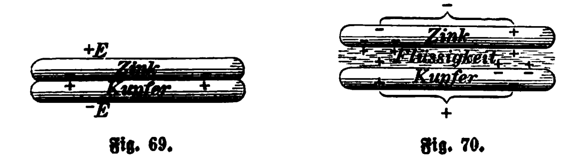


Fig. 69. Fig. 70.

jedoch die Sache, wenn zwischen Kupfer und Zink eine Flüssigkeit sich befindet, durch welche die elektrische Erregung hindurchgehen muß. Diesen Fall illustriert Fig. 70. Hierbei ladet sich die Kupferplatte in umgekehrter Weise mit positiver und die Zinkplatte mit negativer Elektrizität. Dieses verschiedene Verhalten liegt in der Mitwirkung der Flüssigkeit. Bei der Berührung von Kupfer mit der Flüssigkeit scheidet sich die positive Elektrizität in der Flüssigkeit (z. B. in ungesäuertem Wasser), die negative im Kupfer ab. Ganz ähnlich ist das Verhalten bei der Berührung zwischen Zink und Flüssigkeit. Indessen ist die elektrische Erregung zwischen Zink und Flüssigkeit stärker als zwischen Kupfer und Flüssigkeit. Die freie positive Elektrizität der Flüssigkeit tritt also einerseits auf das Zink, andrerseits auf das Kupfer über, gleichzeitig bewirkt jedoch auch die positive Elektrizität der Flüssigkeit eine Ausscheidung von negativer Elektrizität am Zink und Kupfer; es ist jedoch die Menge der von der Flüssigkeit an das Kupfer abgegebenen positiven Elektrizität größer als die im Kupfer abgeschiedene negative Elektrizität, während bezüglich des Zinks gerade das umgekehrte stattfindet, weshalb am Kupfer die positive, am Zink die negative Elektrizität unter diesen Umständen überwiegt. Die in einer solchen Kombination befindlichen

Leiter der ersten Ordnung werden Elektroden genannt und die Kombination selbst heißt ein Volta-Element. Wird in einem solchen Element die freie Elektrizität der einen Elektrode nach der Erde abgeleitet, so verdoppelt sich die elektrische Spannung auf der andern Elektrode. Die positive Elektrode wird auch als Anode und die negative Elektrode als Kathode bezeichnet.

Werden die festen Bestandteile eines Volta-Elementes (z. B. der dasselbe bildenden Kupfer- und Zinkplatte) durch einen Metalldraht verbunden (Fig. 71), so tritt zu den durch Berührung der Flüssigkeit mit den Metallen erregten elektromotorischen Kräften noch die durch Berührung dieser beiden Metalle erregte bedeutende Kraftwirkung hinzu und es erfolgt eine Bewegung des elektrischen Fluidums durch den Draht, indem die vorher getrennten Elektrizitäten sich kontinuierlich wieder vereinigen und durch die elektromotorische Kraftwirkung unaufhörlich neue Mengen der gebundenen Elektrizitäten geschieden werden. Auf diese Weise entstehen zwei sich begegnende elektrische Ströme, ein positiver Strom, der seinen Weg vom Kupfer durch den Schließungsdraht nach dem Zink und von diesem durch die Flüssigkeit u. s. w. wieder zum Kupfer nimmt, und ein negativer Strom, der vom Zink ausgehend die entgegengesetzte Richtung verfolgt. Der Kürze halber spricht man aber gewöhnlich nur von einem elektrischen Strome und versteht darunter den positiven Strom.

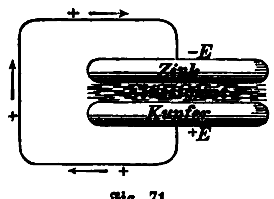


Fig. 71.

Die beiden unter den geschilderten Umständen gegen einander fließenden Ströme suchen das gestörte elektrische Gleichgewicht wiederherzustellen, was aber so lange nicht geschehen kann, als immer neue Mengen entgegengesetzter Elektrizitäten in der Kombination sich ausscheiden. Die Intensität, mit welcher diese Ausscheidung angestrebt wird, nennt man die Stromstärke.

Die in Fig. 70 und 71 abgebildete elektromotorische Kombination wird als galvanische Kette oder galvanisches Element bezeichnet und zwar ist Fig. 70 ein offenes und Fig. 71 ein (durch den Stromkreis) geschlossenes Element. Die Endpunkte eines solchen Elementes heißen Pole, wobei derjenige Teil des zum Element gehörigen galvanischen Paares als positiv bezeichnet wird, der

durch die Verbindung seines Poles mit einem Elektroskop negative Elektrizität anzeigt, nach welchem also (mit Bezug auf Fig. 71) im Stromkreise die positive Elektrizität hinströmt; der andere Teil des galvanischen Paares wird alsdann im Gegensatz als negativ bezeichnet. Obschon man zuweilen im strengsten Sinne nur die zum Anschluß des äußern Stromkreises mit Klemmen versehenen Ausläufer des Paares als Elektroden bezeichnet, so überträgt man doch für gewöhnlich, des kurzen Ausdrucks wegen, diese Bezeichnung auf die beiden Teile des galvanischen Paares selbst und spricht daher von der positiven Elektrode (dem Zink) und von der negativen Elektrode (dem Kupfer oder seinen Substituten Kohle, Platin u. s. w.). Man unterscheidet auch wohl die positive Elektrode als die lösliche von der negativen als der unlöslichen oder Ableitungselektrode. Eine Verbindung galvanischer Elemente zur Verstärkung der Wirkung nennt man eine galvanische Batterie.

90. Durch welche Umstände wird die Wirkung der galvanischen Elemente beeinflußt?

Indem in einem galvanischen Element durch die positive Zinkelektrode Wasser zersetzt wird, scheidet der Sauerstoff sich am Zink, der Wasserstoff aber an der negativen Elektrode (Ableitungselektrode) ab. Dieser freigewordene Wasserstoff, wird zumteil von dem Sauerstoffe der Luft (insoweit diese im Element vorhanden ist, oder in dasselbe eintreten kann) oxydiert, zumteil aber setzt sich derselbe, wenn sonst kein Oxydationsmittel vorhanden ist, an der negativen Elektrode ab und vermindert mehr oder weniger deren Wirkung, wodurch im Elemente eine mehr oder minder große Stromschwächung herbeigeführt wird; man bezeichnet diese Erscheinung als Polarisation. Außerdem kann die Wirkung eines Elementes auch noch durch die infolge der darin stattfindenden chemischen Prozesse herbeigeführte Veränderung der Flüssigkeit und andere Ursachen geschwächt werden. Elemente, bei denen sich im Betriebe eine rasche und sehr merkliche Stromschwächung einstellt, nennt man unkonstante Elemente im Gegensatze zu den konstanten Elementen, bei denen die Stromschwächung langsamer und in geringerem Grade sich bemerklich macht. Auch der Sauerstoff kann zur Polarisation beitragen, sobald derselbe so rasch entwickelt wird, daß das Zink ihn nicht vollständig aufnehmen kann. Die Polarisation wächst daher in der Regel mit der Stromstärke.

Leiter der ersten Ordnung werden **Elektroden** genannt und die Kombination selbst heißt ein **Volta-Element**. Wird in einem solchen Element die freie Elektrizität der einen Elektrode nach der Erde abgeleitet, so verdoppelt sich die elektrische Spannung auf der andern Elektrode. Die positive Elektrode wird auch als **Anode** und die negative Elektrode als **Kathode** bezeichnet.

Werden die festen Bestandteile eines Volta-Elementes (z. B. der dasselbe bildenden Kupfer- und Zinkplatte) durch einen Metalldraht verbunden (Fig. 71), so tritt zu den durch Berührung der Flüssigkeit mit den Metallen erregten elektromotorischen Kräften noch die durch Berührung dieser beiden Metalle erregte bedeutende Kraftwirkung hinzu und es erfolgt eine Bewegung des elektrischen Fluidums durch den Draht, indem die vorher getrennten Elektrizitäten sich kontinuierlich wieder vereinigen und durch die elektromotorische Kraftwirkung unaufhörlich neue Mengen der gebundenen Elektrizitäten geschieden werden.

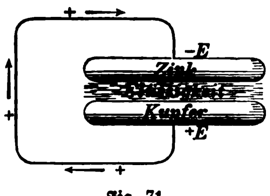


Fig. 71.

Auf diese Weise entstehen zwei sich begegnende **elektrische Ströme**, ein positiver Strom, der seinen Weg vom Kupfer durch den Schließungsdraht nach dem Zink und von diesem durch die Flüssigkeit u. s. w. wieder zum Kupfer nimmt, und ein negativer Strom, der vom Zink ausgehend die entgegengesetzte Richtung verfolgt. Der Kürze halber spricht man aber gewöhnlich nur von einem elektrischen Strome und versteht darunter den positiven Strom.

Die beiden unter den geschilderten Umständen gegen einander fließenden Ströme suchen das gestörte elektrische Gleichgewicht wiederherzustellen, was aber so lange nicht geschehen kann, als immer neue Mengen entgegengesetzter Elektrizitäten in der Kombination sich ausscheiden. Die Intensität, mit welcher diese Ausscheidung angestrebt wird, nennt man die **Stromstärke**.

Die in Fig. 70 und 71 abgebildete elektromotorische Kombination wird als **galvanische Kette** oder **galvanisches Element** bezeichnet und zwar ist Fig. 70 ein offenes und Fig. 71 ein (durch den Stromkreis) geschlossenes Element. Die Endpunkte eines solchen Elementes heißen Pole, wobei derjenige Teil des zum Element gehörigen galvanischen Paares als positiv bezeichnet wird, der

durch die Verbindung seines Poles mit einem Elektroskop negative Elektrizität anzeigt, nach welchem also (mit Bezug auf Fig. 71) im Stromkreise die positive Elektrizität hinströmt; der andere Teil des galvanischen Paares wird alsdann im Gegensatz als negativ bezeichnet. Obschon man zuweilen im strengsten Sinne nur die zum Anschluß des äußern Stromkreises mit Klemmen versehenen Ausläufer des Paares als Elektroden bezeichnet, so überträgt man doch für gewöhnlich, des kurzen Ausdrucks wegen, diese Bezeichnung auf die beiden Teile des galvanischen Paares selbst und spricht daher von der positiven Elektrode (dem Zink) und von der negativen Elektrode (dem Kupfer oder seinen Substituten Kohle, Platin u. s. w.). Man unterscheidet auch wohl die positive Elektrode als die lösliche von der negativen als der unlöslichen oder Ableitungselektrode. Eine Verbindung galvanischer Elemente zur Verstärkung der Wirkung nennt man eine galvanische Batterie.

90. Durch welche Umstände wird die Wirkung der galvanischen Elemente beeinflußt?

Indem in einem galvanischen Element durch die positive Zinkelektrode Wasser zersetzt wird, scheidet der Sauerstoff sich am Zink, der Wasserstoff aber an der negativen Elektrode (Ableitungselektrode) ab. Dieser freigewordene Wasserstoff wird zumteil von dem Sauerstoffe der Luft (insoweit diese im Element vorhanden ist, oder in dasselbe eintreten kann) oxydiert, zumteil aber setzt sich derselbe, wenn sonst kein Oxydationsmittel vorhanden ist, an der negativen Elektrode ab und vermindert mehr oder weniger deren Wirkung, wodurch im Elemente eine mehr oder minder große Stromschwächung herbeigeführt wird; man bezeichnet diese Erscheinung als Polarisation. Außerdem kann die Wirkung eines Elementes auch noch durch die infolge der darin stattfindenden chemischen Prozesse herbeigeführte Veränderung der Flüssigkeit und andere Ursachen geschwächt werden. Elemente, bei denen sich im Betriebe eine rasche und sehr merkliche Stromschwächung einstellt, nennt man unkonstante Elemente im Gegensatze zu den konstanten Elementen, bei denen die Stromschwächung langsamer und in geringerem Grade sich bemerklich macht. Auch der Sauerstoff kann zur Polarisation beitragen, sobald derselbe so rasch entwickelt wird, daß das Zink ihn nicht vollständig aufnehmen kann. Die Polarisation wächst daher in der Regel mit der Stromstärke.

91. Wie lassen sich die galvanischen Elemente klassifizieren?

Diese Klassifikation kann entweder auf Grund der Wirkungsweise oder auf Grund der Konstruktion der Elemente erfolgen. Vom erstern Gesichtspunkte aus unterscheidet man unkonstante und konstante Elemente; vom zweiten Gesichtspunkte aus benennt man die Klassen oder Arten der Elemente nach der darin vorkommenden wesentlichen Substanz, als welche man die Elektroden, oder das Elektrolyt oder auch den auf Verhütung der Polarisation hinwirkenden Körper ansehen kann. Der erstere Gesichtspunkt der Klassifikation verliert jedoch dadurch an Schärfe, daß unter verschiedenen Umständen ein und dasselbe Element als unkonstant oder als konstant sich zeigen kann. Zu einer schärfern Unterscheidung gelangt man, wenn man als zwei Hauptklassen polarisierende und depolarisierte Elemente unterscheidet und die Art der Depolarisation zur Unterscheidung der Unterklassen der Elemente benutzt.

92. Welches sind die hauptsächlichsten polarisierenden oder unkonstanten Elemente?

Zu dieser Klasse rechnet man alle Elemente, bei denen keine besondere Vorrichtung zur Verhütung der Polarisation durch rasche und ausreichende Oxydation des an der negativen Elektrode sich ausscheidenden Wasserstoffes getroffen ist. Da bei diesen Elementen sich in der Regel eine rasche Abnahme in der Wirkung bemerklich macht, so nennt man dieselben auch unkonstante Elemente. Zu dieser Klasse gehören in der Hauptsache alle die älteren Elemente, welche als Zink-Kupfer-(oder Platin-) Schwefelsäureelemente, als Zink-Kohlen-Salzwasserelemente und als Eisen-Kupfer-Schwefelsäureelemente. Die Schwefelsäure kann bei diesen Elementen auch durch Salmiaklösung oder sogar durch Salpetersäure ersetzt werden. Alle diese verschiedenartigen Elemente sind als Modifikationen des Voltaschen Elementes oder der sogenannten Voltaschen Säule aufzufassen, welche aus Kupfer- und Zinkscheiben mit Zwischenlagen von Tuch, das mit angesäuertem Wasser befeuchtet war, aufgebaut wurde. In andrer Gestalt bestand die Voltasche Säule auch aus ⊓förmig gebogenen Messing- und Kupferstreifen, welche so in Gefäße mit angesäuertem Wasser eingetaucht waren, daß immer die Schenkel eines Kupfer- und eines Zinkstreifens in einem Gefäße als Elektroden auf einander wirkten und ein Element bildeten. Um die in der Voltaschen Säule auftretende starke Polarisation zu vermindern, verwendete Wollaston Uförmige Kupferelektroden, zwischen

deren Schenkel er die Zinkplatte einsenkte; es wurde dadurch nicht nur die Fläche der negativen Elektrode im Verhältnis zur Abscheidung des Wasserstoffes vergrößert, sondern auch die beiderseitige Benutzung der positiven Elektrode erreicht und so der unnütze Zinkverbrauch verhütet. Bei anderen Modifikationen der Volta-Batterie wurden die Uförmig gebogenen Zink- und Kupferstreifen derartig vertical aufgestellt, daß sie mit ihren Schenkeln immer paarweis in die Höhlung des entgegengesetzten Streifens eingriffen. Bei dem Hareschen sogenannten Kalorimeter, welches zur Erzeugung eines sehr starken aber nur kurz dauernden Stromes benutzt wurde, waren ein langer Kupfer- und Zinkstreifen spiralartig um einander gerollt und ein enger Zwischenraum derselben durch eingeschobene Holzstäbe gesichert. Im Smeeschen Element wurde das Kupfer durch Platin ersetzt, welches durch einen besondern Prozeß mit einem schwammartigen Platinüberzuge (Platinmoor) versehen war. Im Tyerschen Elemente wurde anstatt des Platins platinisiertes Silber und im Ebnerschen Elemente platinisiertes Blei, im Maicheschen Elemente aber platinisierte Kohle benutzt. Durch alle diese Modifikationen der negativen Elektrode sollte mittels Vergrößerung von deren Fläche die Polarisation verlangsamt und also der Strom möglichst anhaltend konstant erhalten werden. Um das Element billiger zu machen wurde das Zink durch Eisen ersetzt, wodurch aber die Stromstärke sich sehr verminderte. Aus gleichem Grunde verwendete man anstatt der verdünnten Schwefelsäure eine Lösung von Kochsalz, weil diese im offnen Elemente das Zink nur unmerklich angreift; die Kupferelektrode wird dabei durch Kohle ersetzt, weil diese durch ihre Porosität dem daran sich abscheidenden Wasserstoffe eine größere Fläche bietet und somit die Polarisation verlangsamt. Derartige Elemente sollen beim Telegraphenbetrieb in der Schweiz vielfach verwendet werden. Im Bagration-Elemente sind die beiden aus Zink und Kupfer bestehenden Elektroden in mit Salmiaklösung getränkte Erde eingesenkt, wodurch ein sehr konstanter Strom erzielt werden soll. Alle diese Elemente sind mit wenigen Ausnahmen kaum noch im Gebrauch.

Als neueres Zink-Platin-Ammoniak-Element ist das schon erwähnte Maiche-Element wegen einfacher Konstruktion, Wohlfeilheit und seiner Verwendbarkeit für Haustelegraphen zu erwähnen.

Das in Fig. 72 S. 118 abgebildete Element besteht aus einem Glasgefäß, dessen oberer Teil einen am Umfange durchlochten porösen Cylinder enthält, der durch einen Ebonitdeckel mit dem Glasgefäße

fest verbunden ist. Der poröse Cylinder ist mit erbsengroßen platinisierten Koksstückchen, das Glasgefäß aber mit einer Salmiaklösung oder mit stark verdünnter Schwefelsäure (10 Teile Wasser mit 1 Teil Säure) gefüllt, so daß die Flüssigkeit gerade noch den untern Rand des porösen Cylinders um etwa Fingerbreite überragt und somit die Koksstückchen hauptsächlich durch die Wirkung der Kapillarität befeuchtet werden. Bei andauerndem Betrieb wird infolge der Polarisation dieses Element rasch unwirksam und braucht eine längere Ruhepause zu seiner Erholung. Die Flüssigkeit ist rechtzeitig zu erneuern, damit die Poren des Kokses nicht durch das sich bildende Zinkammoniumsalz verstopft werden.



Fig. 72.

Anstatt der Salmiaklösung kann auch Alaunlösung verwendet werden, wobei alsdann die positive Elektrode aus Kohle (Gasretortenkoks) besteht.

93. Welches sind die hauptsächlichsten depolarisierten oder sogenannten konstanten Elemente?

Um einen Überblick über diese Klasse der galvanischen Elemente zu gewinnen, kann man die zur Entpolarisierung benutzte, zur Lieferung eines Oxydationsmittels zersetzbare Substanz als Unterscheidungsmerkmal benutzen und danach einteilen in: Kupfervitriolelemente, Quecksilbersalzelemente, Braunsteinelemente, Salpetersäure- und Chromsäureelemente, Chlorelemente u. s. w.

I. Kupfervitriolelemente; dieselben bestehen in der Hauptsache aus einer Zink- und einer Kupferelektrode und einer Kupfervitriol-(Kupfersulfat-)lösung. Bei einigen Elementen sind die beiden Elektroden durch eine poröse Zelle geschieden und die Zinkelektrode von verdünnter Schwefelsäure- oder Kochsalzlösung u. s. w. umgeben, während die Kupferelektrode mit der Kupfervitriollösung sich in der porösen Zelle befindet; bei anderen Elementen sind die mit ihren Flächen horizontalen Elektroden so angeordnet, daß die Kupferplatte mit der Kupfervitriollösung sich zu unterst, die

Zinkplatte aber zu oberst befindet, so daß sie nur mit einer spezifisch leichteren Zinkvitriollösung in Berührung kommt, wobei eine Zwischenschicht von Sand, Sägespänen u. dergl. hinzugefügt wird; zuweilen befinden sich aber auch beide Elektroden ohne jede Zwischenschicht in einer und derselben Flüssigkeit (Bittersalzlösung), wobei die stets konzentriert erhaltene Kupfervitriollösung als die spezifisch schwerere von selbst am Boden bleibt. Die poröse Zelle sucht man bei diesen Elementen deshalb zu beseitigen, weil sie durch Zinkschlamm leicht verstopft und mit ausgeschiedenem Kupfer bedeckt wird, wodurch eine leitende Verbindung zwischen beiden Elektroden entstehen kann, indem durch diese sogenannte Metallvegetation das Zink mit Kupfer bedeckt und das Element unbrauchbar wird. Im Ruhezustande des Elementes tritt die Unbrauchbarkeit früher ein, als wenn das Element im fortdauernden Betriebe sich befindet; auch ist im Ruhezustande der Zinkverbrauch ziemlich groß.



Fig. 73.

1) Das **Daniell-Element** ist das zuerst (1836) erfundene konstante Element und durch seine konstante Wirkung ausgezeichnet, so daß man dasselbe als Normalelement betrachtet und seine elektromotorische Kraft als Maßeinheit für die anderen Elemente benutzt.

Das Element besteht in der gewöhnlichen ältern Anordnung aus einem in der verdünnten Schwefelsäure (resp. Zinkvitriollösung) stehenden amalgamierten Zinkcylinder, welcher die mit der gesättigten Kupfervitriollösung gefüllte und die Kupferelektrode enthaltende poröse Thonzelle umgiebt. Eine andere, neuere Anordnung zeigt Fig. 73, wobei sich die Kupferelektrode außerhalb, die Zinkelektrode aber innerhalb der porösen Zelle befindet. Der Kupfercylinder ist hierbei mit einem siebartig durchlöcherten Behälter versehen, worin sich Kupfervitriolkrystalle befinden, durch welche die Lösung stets konzentriert erhalten wird; außer diesem Vorteile trägt die vergrößerte

Fläche der Kupferelektrode auch noch zur verstärkten Depolarisierung des Elementes bei.

Zu demselben Zwecke ist von Kramer ein Element mit zwei in einander gestellten porösen Zellen versehen, von denen jede einen Kupfercylinder enthält, die beide mit ihren Ableitungsstreifen vereinigt sind. Der Zinkcylinder umschließt die porösen Zellen.

2) **Siemens-Halskes Zink-Kupferelement** (Fig. 74) unterscheidet sich vom Daniell-Element durch die Form der Elektroden und die Herstellung der Scheidewand zwischen den Flüssigkeiten. A ist das Glasgefäß; c ein Glasrohr; k ein spiralförmig gebogenes senkrecht stehendes Kupferblech, woran ein Draht b angelötet ist; e ist eine Pappscheibe; f eine dicke Scheibe aus einer eigentümlich zubereiteten pergamentartigen Papiermasse, welche die Stelle der porösen Zelle ersetzt, indem sie eine Scheidewand zwischen den Flüssigkeiten bildet; g ist eine lockere Gewebeschicht. Z ist das cylindrisch gebogene nicht amalgamierte Zinkblech, woran ein Kupferdraht h mit Schraubenklemme angelötet ist. Der innere Glascylinder c ist mit Krystallen von schwefelsaurem Kupfer gefüllt und Wasser darüber gegossen. Der Raum um c enthält angesäuertes Wasser oder eine Kochsalzlösung. Bei dem Betriebe der Batterie ist es nur nötig, den innern Cylinder mit Kupfervitriolkrystallen gefüllt zu erhalten und das Wasser im äußern Gefäße von Zeit zu Zeit zu erneuern. Die pergamentartige Papiermasse ist mit einer Scheibe aus grobem Tuche bedeckt, welche bei der etwa alle acht Tage vorzunehmenden Reinigung des Elementes erneuert werden muß. Diese Elemente sind sehr konstant, ihre elektromotorische Kraft ist = 0.9 Daniell.

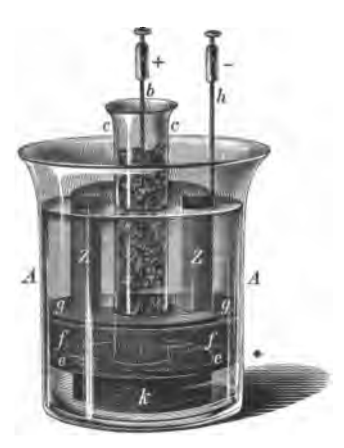


Fig. 74.

3) Das Carrésche Element unterscheidet sich nur dadurch von dem Daniellschen, daß es keine poröse Zelle hat, indem dieselbe durch eine Zelle aus Pergamentpapier ersetzt ist, deren Widerstand sehr gering ist. Der Zinkcylinder hat 55 cm Höhe bei 11 cm Durchmesser. Mit einer Batterie von 60 solchen Elementen erzeugte Carré elektrisches Licht zur Theaterbeleuchtung und sein Element hat 200 Stunden ohne merkliche Abschwächung ausgehalten, wobei nur alle 24 Stunden ein Teil der sich bildenden Zinkvitriollösung durch reines Wasser ersetzt wurde.

4) Reyniers Element hat Kupfer zur negativen Elektrode, welche in einer Kupfervitriollösung steht, während das Zink sich in einer Sodalösung befindet. Beide Flüssigkeiten sind durch poröse Scheidewände von Pergamentpapier getrennt, ähnlich wie bei dem Carréschen Elemente. Die Gefäße und Diaphragmen haben parallelipipedische Form und demgemäß sind die Metalle Vförmig gekrümmt.

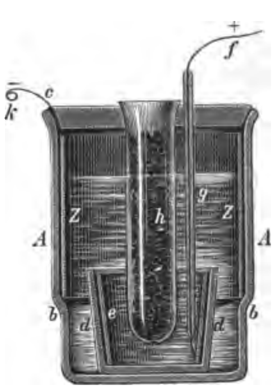


Fig. 75.

5) Meidingers Zink-Kupferelement (Fig. 75) hat keine poröse Zelle; es besteht aus einem Glasgefäß A von 20 cm Höhe und 12.5 cm Weite, auf dessen Boden ein kleines Glasgefäß d steht, welches etwa halb so weit wie das große Gefäß ist. Dieses kleinere Gefäß ist mit Schellack auf den Boden des größern Gefäßes festgekittet. In den oberen Teil des großen Glases bis etwa ein Drittel der Höhe vom Boden entfernt befindet sich ein Cylinder Z aus 3 mm starkem Zinkguß, welcher unten auf einem Ansatze des Gefäßes aufsteht. An die innere Wand des kleinen Gefäßes legt sich ein Cylinder e aus Kupferblech an, der mit einem durch ein Glasrohr isolierten Drahte g versehen ist. Die Mündung des größern Gefäßes ist durch einen Deckel aus Holz oder Ebonit (Hartgummi) geschlossen, der in der Mitte eine Öffnung zur Aufnahme des Halses eines am Boden gelochten langcylindrischen Glases h von 20 cm Höhe und 3.8 cm Durchmesser hat. Dieses enge Glas reicht fast bis auf den Boden des kleinen innern Gefäßes d hinab.

Das große Gefäß ist mit einer verdünnten Lösung von schwefelsaurer Magnesia (Bittersalz) (auf 1 Teil Salz 4 bis 5 Teile Wasser) gefüllt; im Glasrohre h befinden sich Krystalle von Kupfervitriol, welche eine konzentrierte Lösung bilden, welche vom kleinen Gefäße d aufgenommen wird. Dieses Element zeichnet sich durch sehr konstante Wirkung aus; sein Leitungswiderstand ist sehr bedeutend.

6) **Meidingers Ballonelement** (Fig. 76) ist als eine Modifikation des vorhergehenden anzusehen. Dasselbe besteht aus einem gleichweiten cylindrischen Glase, auf dessen Boden ein konischer Glasbecher mit breitem, tellerförmigem Fuße ruht, so daß er sicher in der Mitte steht. An die innere Wand dieses Bechers schmiegt sich ein Ring aus Kupfer oder Blei an, der als negative Elektrode dient und mit einem angelöteten Kupferdraht oder Bleistreifen versehen ist. Innerhalb des äußern Glasgefäßes befindet sich ein großer weiter Zinkcylinder, an welchem in der ganzen Länge der nach außen gehende kupferne Ableitungsstreifen oder -Draht angelötet ist. Oben ist ein umgestürzter Glasballon aufgesetzt, der mit Kupfervitriolkrystallen gefüllt und dessen Mündung durch einen Korkpfropfen verschlossen ist, durch welchen ein Glasröhrchen hindurchgeht. Das äußere Gefäß ist mit einer Lösung von Bittersalz (schwefelsaurer Magnesia) gefüllt.

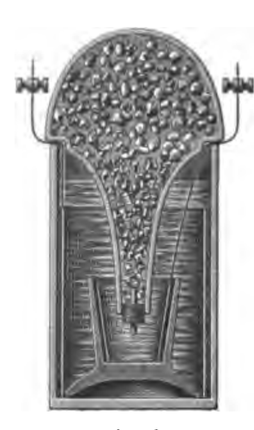


Fig. 76.

Die Bleielektrode bietet den Vorteil der Billigkeit; dieselbe überzieht sich bald mit Kupfer, welches zeitweis durch Biegen des Bleies sich leicht entfernen läßt. Der aus Blei hergestellte Ableitungsstreifen braucht nicht isoliert zu werden. Durch die stets gesättigt erhaltenen Lösungen wird ein starker Verbrauch an Kupfervitriol und Zink herbeigeführt, jedoch auch das Element sehr konstant erhalten. Das Glasröhrchen soll nur so viel Kupfervitriollösung aus dem Ballon heraustreten lassen, als für den Verbrauch nötig ist, weil dieselbe sonst übersteigt und das Zink verkupfert wird. Besser ist es daher, den Zinkcylinder nicht bis zum Boden hinabgehen zu lassen, wie dies bei dem vorhergehenden Elemente der Fall ist.

7) Das Minotto-Element (Fig. 77) besteht aus einer unterhalb befindlichen Kupferscheibe und einer oberhalb befindlichen Zinkscheibe. Die Kupferscheibe ist mit zerkleinerten Kupfervitriolkrystallen bedeckt und darüber befindet sich eine Schicht von Quarzsand oder Sägespänen, auf welcher die Zinkplatte liegt. Das Ganze ist mit Wasser angefeuchtet. Das Element hat gewöhnlich 10 cm innern Durchmesser und 12.5 bis 13 cm Höhe. Die Metallscheiben haben etwa 9 cm Durchmesser und jede ist mit einem angelöteten isolierten Kupferdrahte versehen. Der Widerstand verringert sich mit der Abnahme des Kupfervitriols, weil dadurch die Elektroden einander näherrücken.



Fig. 77.

8) Thomsons modifiziertes Minotto-Element (Fig. 78), auch als Trogbatterie bezeichnet, besteht aus einem bleiernen Troge, auf dessen Boden 2.5 bis 3 k Kupfervitriolkrystalle in einer gleichmäßig dichten Schicht ausgebreitet und mit einer 2.5 bis 5 cm hohen Schicht feiner Sägespäne bedeckt sind, auf welcher die unterhalb konkav geformte Zinkplatte ruht. Der Trog wird nahezu mit weichem Wasser, oder, wenn eine rasche Wirkung gewünscht wird, mit einer Zinkvitriollösung gefüllt. Diese Batterie soll einen starken, gleichmäßigen Strom von monatlanger Dauer ergeben; ihr Widerstand ist gering und besondere Vorsicht in der Instandhaltung soll nicht nötig sein.

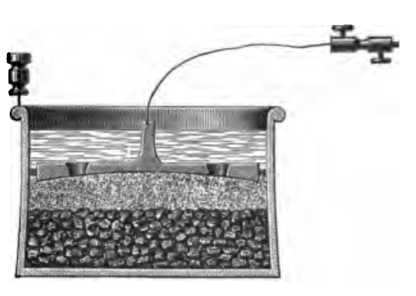


Fig. 78.

9) Thomsons Trogbatterie für Beleuchtungszwecke (Fig. 79 S. 124). Das Element dieser Batterie besteht aus einem flachen,

50 cm im Quadrat haltenden Holzkasten, der mit Blei ausgefüttert ist. Am Boden liegt eine Kupferplatte, welche mit Kupfervitriolkrystallen bedeckt und mit Wasser übergossen wird; darüber ist auf vier in den Ecken befindlichen Holzklötzchen die aus Zinkguß hergestellte rostförmige positive Elektrode aufgelegt, während die negative Elektrode von Kupfer und Blei gebildet wird. Der Zinkrost ist von außen mit Pergamentpapier bedeckt, das um seine Ränder umgeschlagen ist, doch so, daß die Ecken des Zinkrostes frei bleiben.

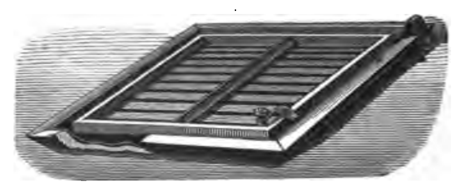


Fig. 79.

In den auf diese Weise mit einem porösen Boden versehenen Zinkrost wird eine Zinkvitriollösung gegossen. Zur Bildung einer Batterie werden beliebig viel (bis zu zehn oder mehr) solcher Elemente übereinandergesetzt, so daß die vom Bleifutter ausgehenden Streifen eines aufgesetzten Elementes stets mit den freien Ecken des Zinkrostes vom darunter stehenden Element in Kontakt kommen. Eine solche Batterie liefert einen konstanten starken Strom. Die elektromotorische Kraft ist gleich der des Daniell-Elementes, der Widerstand beträgt aber nur 0.1 Ohm. Die gute Instandhaltung erfordert Sorgfalt.

10) Carrés Element hat Zinkcylinder von 11 cm Durchmesser und 55 cm Höhe, welche in Zellen aus Pergamentpapier stehen. Eine Batterie von 60 solchen Elementen kann zur Erzeugung von elektrischem Licht 200 Stunden lang ohne merkliche Stromabnahme benutzt werden, wenn man alle 24 Stunden einen Teil der Zinkvitriollösung durch Wasser ersetzt.

11) Thomsons Laboratoriumelement (Fig. 80) ist dem vorigen durch seine rostförmige Zinkelektrode ähnlich, sonst aber in der Anordnung ziemlich verschieden davon. Es besteht aus einem Glastroge, auf dessen Boden eine Kupferscheibe liegt, auf welcher ein unten offenes, mit Kupfervitriolkrystallen teilweis gefülltes Glasrohr steht, während das äußere Gefäß mit Zinkvitriollösung soweit angefüllt ist, daß der Zinkrost in dieselbe eintaucht. Die

Kupfervitriolkrystalle lösen sich in der untern Flüssigkeitsschicht und die so gebildete dichtere Flüssigkeit hat wenig Neigung, sich mit der obern Flüssigkeitsschicht durch Diffusion zu vermischen. Um aber diese Vermischung möglichst vollständig zu verhüten, ist ein heberförmiges, mit einem Dochte ausgefülltes Glasrohr mit seinem kürzern Schenkel bis zur Mitte der Flüssigkeit im Element eingetaucht und führt die Flüssigkeit gerade an der Stelle, wo die Vermischung einzutreten pflegt, fortwährend nach einem außerhalb aufgestellten Glase ab, während eine schwache Zinkvitriollösung in entsprechender Weise fortwährend zugeführt wird.

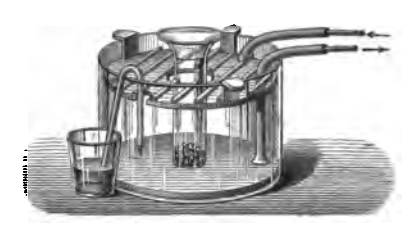


Fig. 80.

12) Das Bliß-Hill-Element (Fig. 81), das von der Western Electrical Manufacturing Company zu Chicago hergestellt wird, ist dem Minotto-Element sehr ähnlich; es besteht aus einem gewöhnlichen Glasgefäß, das am Boden mit einer Schicht Kupfervitriol bedeckt ist, auf welcher eine mit einem Kupferdraht verbundene Kupferplatte liegt. Das Glasgefäß ist mit einem Ebonitdeckel geschlossen, durch dessen Mitte eine Metallstange hindurchgeht, welche die Zinkscheibe trägt; diese Stange ist in der Längsrichtung mit Löchern versehen und mittels eines Vorsteckstiftes kann die Zinkstange allmählich höher gestellt werden, damit dieselbe mit der sich



Fig. 81.

unterhalb bildenden Kupfervitriollösung nicht in Berührung kommt. Die erregende Flüssigkeit besteht aus einer Zinkvitriollösung. Durch Einführung eines besondern, mit der Zinkelektrode nicht in Berührung stehenden Zinkstückes kann das Emporsteigen der Kupfervitriollösung über ein bestimmtes Niveau verhindert werden.

13) Kohlfürst-Element (Fig. 82). Dasselbe besteht aus einem eigentümlich geformten Glasgefäß A, das mit einem gußeisernen Deckel verschlossen ist. Mit dem Deckel ist mittels eines Zinkdrahtes c ein konisches Zinkstück Z verbunden und der in den Deckel eingeschraubte Zinkdraht endet zur bequemen Verbindung mit dem Leitungsdrahte oben in eine Öse x. Dieses Zink bildet die positive Elektrode des Elementes; die andere Elektrode wird durch einen Sförmig gebogenen Bleistreifen gebildet, der sich im untersten Teile des Glasgefäßes befindet. Von diesem Bleistreifen geht ein mittels Guttapercha isolierter Draht f durch den Deckel hindurch. Der untere Teil des Glasgefäßes bis zu der Einschnürung bb ist mit Kupfervitriolkrystallen gefüllt und darüber ist ein aus porösem Thone bestehender durchlöcherter Deckel t gelegt. Die erregende Flüssigkeit besteht aus einer Lösung von schwefelsaurer Magnesia und es wird dieselbe durch einen auf dem Deckel befindlichen kleinen Trichter L eingegossen, der außerdem mit einem Pfropfen verschlossen ist. Die elektromotorische Kraft dieses Elementes ist der des Daniell-Elementes ungefähr gleich und ist die Wirkung eine sehr konstante; außerdem soll sich dieses Element in der Anschaffung und Unterhaltung sehr billig stellen.



Fig. 82.

14) Gniffe-Element (Fig. 83). Dasselbe ist so konstruiert, daß die Kupfervitriollösung nicht zum Zink gelangen kann. Das viereckige Glasgefäß B enthält einen kurzen Zinkcylinder Z, der mittels drei Drähte an der kreisförmigen Mündung des Gefäßes B aufgehängt ist und nur knapp bis zur halben Höhe hinabreicht. Innerhalb des Zinkcylinders befindet sich die unten offene Zelle P, deren obere Hälfte bis J porös ist, während der untere Teil C aus einem Glascylinder besteht. Innerhalb dieser Zelle ist der Kupfer-

cylinder mittels eines hakenförmigen Kupferstreifens eingehängt. Von dem Haken geht ein Kupferdraht bis zum untern Rande der innern Zelle C und ist unten um dieselbe zu einem Ringe G″ gebogen. Der untere Teil der Zelle ist mit Kupfervitriolkrystallen und der übrige Teil mit einer konzentrierten Lösung von Zinkvitriol oder schwefelsaurer Magnesia (Bittersalz) gefüllt. Bei der Auflösung des Kupfervitriols wird zuerst die Flüssigkeit im untern Teile der Zelle gesättigt, und wenn diese gesättigte Lösung bis zur Höhe J gestiegen ist, wo der poröse Teil der Zelle beginnt, so durchdringt dieselbe die Poren und sinkt infolge ihrer Dichtigkeit in den untern Teil des äußern Glasgefäßes herab. Dieser Prozeß geht sehr langsam vor sich und das Element kann wochenlang außer Betrieb stehen, bevor sich am Zinkcylinder Kupfer niederschlägt. Befindet sich das Element in Betrieb, so ist der Widerstand zwischen der Zinkelektrode Z und der Kupferelektrode G″ kleiner, als der Widerstand zwischen Z und dem in der Zelle hängenden Kupfercylinder; es wird daher das im untern Teile des äußern Glasgefäßes befindliche aufgelöste Kupfersalz zuerst reduziert, wobei das Kupfer an der ringförmigen Elektrode G″ ausgeschieden wird. Hierdurch wird die Zinkvitriollösung im äußern Gefäße von der damit vermischten Kupferlösung befreit. Das Abscheiden von Kupfer an der porösen Zelle wird in diesem Element vermieden, wenn keinerlei Berührung der Zelle mit den Kupferteilen des Apparates stattfindet.

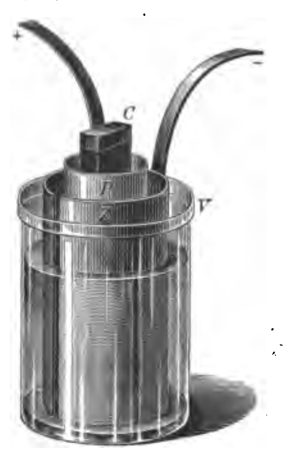


Fig. 83.

15) Das Reynier-Element unterscheidet sich von den bisher beschriebenen Kombinationen dadurch, daß die verdünnte Schwefelsäure durch Ätznatronlösung ersetzt ist, wodurch der unnütze Zinkverbrauch aufhört und die Diffusion der Kupfervitriollösung bei offnem Element verhütet wird, indem die Poren der Zelle sich rasch mit schwerlöslichem Kupferoxydhydrat verstopfen. Außerdem wird aber auch die elektromotorische Kraft um ein drittel bis ein halb Volt erhöht und die Amalgamierung des Zinks unnötig gemacht.

II. Quecksilbersalzelemente bieten vor den Kupfervitriolelementen den Vorteil, daß die elektromotorische Kraft größer ist, indem sie etwa die anderthalbfache des Daniell-Elementes beträgt, und daß durch das frei werdende Quecksilber das Zink stets in gehöriger Amalgamation erhalten bleibt. Ein Übelstand ist die Giftigkeit der Substanz und der hohe Preis derselben, indessen werden trotzdem diese Elemente besonders für medizinische Zwecke (zum Betrieb transportabler Induktionsapparate), sowie auch in der Telegraphie verwendet.

1) Das Marié Davys-Element (Fig. 84) besteht aus Zink in verdünnter Schwefelsäure und Kohle in einer Lösung von schwefelsaurem Quecksilberoxydul. Das schwerlösliche Quecksilbersalz wird in feingepulvertem Zustande in Wasser umgerührt und, nachdem die Flüssigkeit sich geklärt hat, der abgesetzte strohgelbe Brei in den Zwischenraum der Kohle C und der porösen Zelle P mit einem



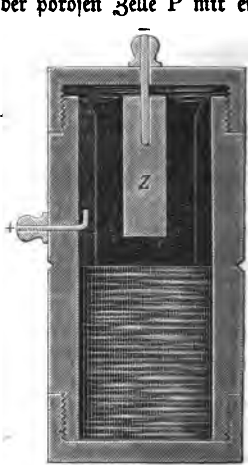
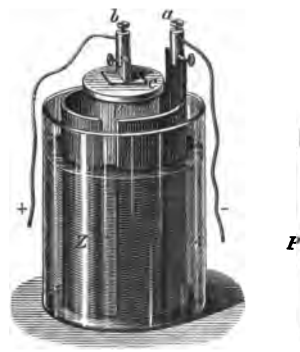



Fig. 84. Fig. 85.

Holzspatel gefüllt, während die klare Flüssigkeit in das äußere Gefäß V, worin das Zink Z steht, gegossen wird. Das durch Diffusion und Reduktion gebildete Quecksilber dient zur fortdauernden Amalgamierung des Zinks. Die vierseitige Kohlenelektrode ist oberhalb mit einer Kappe von galvanoplastisch niedergeschlagnem Kupfer versehen, woran ein Kupferstreifen angelötet ist.

2) Trouvés umkehrbares Element (Fig. 85) ist besonders für Ärzte bequem, da es leicht transportabel ist. Das cylindrische Gefäß ist aus Ebonit mit aufschraubbarem dicht schließenden Deckel hergestellt. Der in der Mitte des Deckels aufgehängte massive Zinkcylinder ist mit einem nach außen gehenden und in einen Knopf endenden Drahte verbunden; ebenso der nur bis zur Hälfte des Gefäßes hinabgehende, dicht an dessen Innenwand anschließende Kohlencylinder. Im Ruhezustande, d. h. wenn das Element sich in der durch Fig. 85 illustrierten Stellung befindet, reicht die Lösung des schwefelsauren Quecksilbers gerade bis an den untern Rand des Kohlencylinders und das Zink befindet sich noch in einiger Entfernung darüber. Wird das Element aber umgestürzt, so kommen beide Elektroden mit der erregenden Flüssigkeit in Berührung und das Element ist betriebsfähig.

III. Salpetersäureelemente; in denselben wird als Depolarisator konzentrierte Salpetersäure und als negative mit der Salpetersäure in Berührung stehende Elektrode Platin oder Kohle (aus künstlicher Masse oder Gasretortenkoks) benutzt. Infolge der leichten Zersetzbarkeit der Salpetersäure besitzen derartige Elemente unter sonst gleichen Umständen eine größere Stromstärke als die vorhergehenden Elemente, sind aber weniger konstant als diese. Ein großer Übelstand bei diesen Elementen ist das Entweichen schädlicher, aus Untersalpetersäure bestehender Dämpfe.



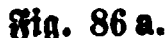


Fig. 86 a.

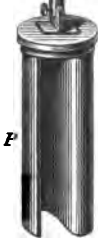


Fig. 86 b.

1) Das Grove-Element (Fig. 86 a und 86 b) besteht aus einem Glasgefäß A, das etwa zu dreiviertel mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt ist und einen amalgamierten Zinkcylinder Z enthält, der eine Schraubenklemme a trägt. Im Zinkcylinder steht die poröse Thonzelle V, die Salpetersäure und die aus ∽förmig gebogenem Platinblech bestehende negative Elektrode P (Fig. 86 b) enthält, welche mit dem Ebonitdeckel c und der Schrauben-

klemme b fest verbunden ist. Das äußere Gefäß hat 12 bis 13 cm Durchmesser und 17 bis 18 cm Höhe.

2) Das **Bunsen-Element** unterscheidet sich in seinen Bestandteilen nur dadurch vom Grove-Element, daß die Platinelektrode durch einen die poröse Zelle umschließenden Kohlencylinder ersetzt und die Zinkelektrode in der porösen Zelle enthalten ist, in welcher sich demnach auch die verdünnte Schwefelsäure befindet, während das äußere Gefäß die Salpetersäure enthält. Es wird durch diese Anordnung eine große Oberfläche und dadurch eine verstärkte Depolarisierung des Elementes erreicht.

3) **Siemens-Halskes modifiziertes Bunsen-Element** (Fig. 87) besteht aus einem durchlöcherten Kohlencylinder c von 11.5 cm Höhe, 5.3 cm innerm und 7.6 cm äußerm Durchmesser; die poröse Zelle c ist ebenfalls 11.5 cm hoch und hat 5 cm äußern Durchmesser. Die Zinkelektrode d hat einen kreuzförmigen Querschnitt, und der Draht s, welcher in dieselbe eingelötet ist, dient mittels der Schraubenklemme f zur Verbindung mit der Kohlenelektrode des nächsten Elementes. Um den obern Teil des Kohlencylinders ist ein Bleistreifen gelegt und darüber ein breiter Kupferring mittels einer Schraube festgespannt. Das äußere Gefäß enthält die Salpetersäure, das innere (die Thonzelle) die verdünnte Schwefelsäure.



Fig. 87.

4) **Verschiedene Modifikationen des Grove-Elementes** sind dadurch entstanden, daß man die Bildung der schädlichen Dämpfe der Salpetersäure möglichst zu verhüten suchte. Im **Faure**-Elemente ist zu dem Zweck die Kohlenelektrode als cylindrisches Gefäß geformt, welches die Salpetersäure enthält und durch einen Pfropfen aus Kohle geschlossen ist. Die Thonzelle ist in diesem Falle unnötig. Im **Callan**-Element ist die Kohle durch ein Stück Eisen ersetzt, welches vorher durch Eintauchen in ein Gemisch von

Schwefel- und Salpetersäure mit einer Oxydschicht überzogen wurde, wodurch dasselbe elektronegativ und daher im Element passiv wird. Schönbein ersetzte nicht nur die Kohle durch eine solche passive Eisenelektrode, sondern verwendete auch anstatt des Zinks eine Eisenelektrode, die aber in diesem Falle keine Oxydschicht haben durfte, weil sie aktiv, d. i. als positive oder Lösungselektrode wirken mußte. Eine Hauptmodifikation des Bunsen-Elementes wird aber durch die folgende Klasse gebildet.

IV. Chromsäureelemente bieten gegenüber den Salpetersäureelementen den großen Vorteil, daß trotz Benutzung einer stark oxydierenden Säure doch die Bildung schädlicher Dämpfe nicht stattfindet. Die Chromsäure wird dadurch hergestellt, daß 12 Gewichtsteile doppeltchromsaures Kali in 100 Teilen Wasser gelöst und durch allmähliches Zugießen von 25 Teilen konzentrierter Schwefelsäure zersetzt werden, wobei sich schwefelsaures Kali bildet und Chromsäure frei wird. Elemente, in denen die Salpetersäure durch Chromsäure ersetzt wird, sind zwar anfänglich sehr konstant, nehmen aber dann in ihrer Wirkung rasch und bedeutend ab, so daß sie einer öftern Erneuerung der Säure bedürfen.

1) Fullers Element (Fig. 88) wird in England im Telegraphenbetrieb verwendet und zeichnet sich besonders dadurch aus, daß für eine dauernde Amalgamierung des Zinks gesorgt ist; dasselbe besteht aus einer Kohlenplatte a, die sich im äußern Gefäße in der Chromsäurelösung befindet, wobei zur Sättigung der Lösung noch Krystalle von doppeltchromsaurem Kali am Boden liegen. Die danebenstehende poröse Thonzelle, welche die als konischen Klotz geformte Zinkelektrode z enthält, ist mit verdünnter Schwefelsäure und etwas Quecksilber gefüllt. Dieses Element zeichnet sich durch geringen Widerstand, lang andauernde Wirkung und leichte Instandhaltung aus. Der Zinkstab der Zinkelektrode wird durch einen Überzug von Guttapercha isoliert.



Fig. 88.

2) Andersons Element (Fig. 89 S. 132) enthält im äußern Gefäß die Kohlenplatte C, welche mit einer Lösung von Oxalsäure umgeben ist, die oxalsaures Chromoxyd enthält; dies wird dadurch erreicht, daß das am Boden durchlöcherte Gefäß B doppeltchromsaures

Kali enthält und nach der gewünschten Stärke des Stromes mehr oder minder tief eingetaucht wird. In der porösen Thonzelle A ist die Zinkplatte Z in Salmiaklösung oder in verdünnte Schwefelsäure eingetaucht. Über die Wirkungsweise dieses Elementes ist nichts näheres bekannt, doch wird dasselbe für Telegraphie, elektromotorischen Betrieb und zur Herstellung von elektrischem Licht empfohlen. Verlangt man eine kurze kräftige Wirkung, so soll man die poröse Zelle weglassen und das Zink mit der Kohle in dieselbe Flüssigkeit stellen. Für derartige Zwecke ist jedoch die Bunsensche Batterie vorzuziehen, weil im Andersonschen Element durch die Oxalsäure ein Teil der Chromsäure reduziert und ein entsprechender Teil der Oxalsäure zu Kohlensäure oxydiert wird, so daß eine wahre Materialverschwendung stattfindet.

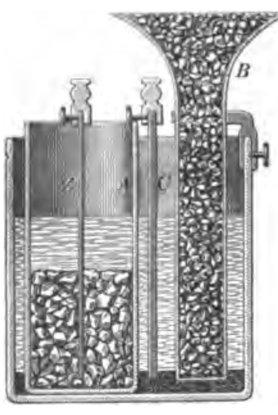


Fig. 89.

3) Die Quellenbatterie (Fig. 90) ist eine Form der Chromsäurebatterie, mit welcher eine konstante, kräftige Wirkung, wie sie besonders für Beleuchtungszwecke nötig ist, erzielt werden kann. Fig. 90 a zeigt in perspektivischer Ansicht die Einrichtung der Batterie. Die negative Elektrode besteht aus einem im Querschnitt Uförmig gebognen Kupferblech A (Fig. 90 b) von etwa 50 cm Länge und 25 cm Breite, das bei a mit einem Kupferstreifen versehen ist. B ist ein Zinkblechstreifen von etwa 40 cm Länge und 11.5 cm Breite. Dieser Zinkblechstreifen wird mit einem Flanellstreifen von 23 cm Breite und 54 cm Länge in der Weise, wie Fig. 90 c zeigt, eingehüllt, wobei der Flanellstreifen oben und unten (bei g und f) zusammengenäht wird, so daß er für das Zink ein straffanliegendes Futteral bildet. Bei dem Zusammensetzen der Batterie wird die Kupferelektrode mit einem Brei aus Lampenruß und verdünnter Schwefelsäure dick bestrichen und die Zinkelektrode in die vorher mit verdünnter Schwefelsäure getränkte Flanellhülle gesteckt, worauf man dieselbe in den Zwischenraum der Kupferelektrode einschiebt, so daß

der Flanell oben und unten etwa fingerbreit vorsteht. Hierbei muß das Kupfer fest an dem Flanell anliegen, aber dasselbe darf nicht mit dem unbedeckten Zink in Berührung kommen. Die so hergestellten Elemente werden in einem Kasten aus Holz, Glas oder Hartgummi zusammengestellt, wobei zwischen je zwei ein Stück starkes, mit Paraffin getränktes Papier s (Fig. 90 a) gebracht wird. Die Elemente werden dann reihenweis verbunden, wozu die Ohren a b dienen. Das über dem Elemente angeordnete Rohr P ist aus Stücken Gasrohr mit Kautschuk zusammengesetzt und mit dem Reservoir D verbunden. An den Stellen, wo die Papierblätter s sich

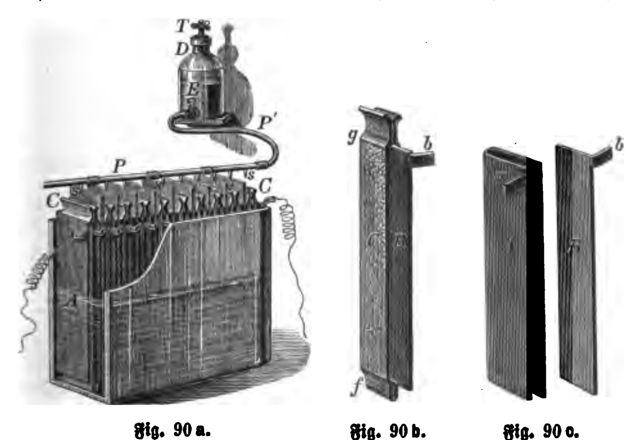


Fig. 90 a. Fig. 90 b. Fig. 90 c.

befinden, sind spitz ausgezogene Röhrchen an das Hauptrohr angesetzt, so daß die Flüssigkeit (eine Lösung von etwa 1.5 k doppeltchromsaurem Kali mit 2 k Schwefelsäure auf 1 l Wasser) tropfenweis auf die Papierblätter fällt und diese stets feucht erhält. Der Abfluß der Flüssigkeit wird mittels der Hähne E und F reguliert. Diese Batterie entwickelt eine bedeutende Stromstärke und wirkt bei gehöriger Regulierung der Flüssigkeit sehr konstant. Neuerdings sind ähnliche Batterien zur Erzeugung von elektrischem Licht im großen mehrfach ausgeführt worden und zwar an solchen Orten, wo die Aufstellung von Kraftmaschinen nicht zulässig erschien. Es ist hier insbesondere die Grenet-Jarriant-Batterie zu nennen, welche zur Beleuchtung des Comptoir d'escompte in Paris Ver-

wendung gefunden hat. Es sind dazu Zink-Kohlenelemente gewählt und als depolarisierende Flüssigkeit dient eine Lösung von 38 k doppeltchromsaurem Natron (weit billiger zu beschaffen als das Kalisalz) und 75 k Schwefelsäure von 66° Baumé auf 1 kg Flüssigkeit. Diese Flüssigkeit wird von einem hochstehenden Reservoir durch einen eigentümlich konstruierten Apparat in der nötigen Menge regelmäßig zugeführt, während die bereits geschwächte Flüssigkeit aus den Elementen abfließt. Eine aus 48 in zwei Reihen angeordneten Elementen bestehende Batterie besitzt eine elektromotorische Kraft von 82 Volts und liefert im kurzen Schluß eine Stromstärke von 24 Ampères. In voller Thätigkeit soll eine solche Batterie 112 km Arbeit pro Stunde oder 1½ Pferdestärke leisten und 8—10 Glühlampen oder eine Siemenssche Bogenlampe zu speisen vermögen.

V. Braunsteinelemente. In denselben wird Braunstein d. i. Manganhyperoxyd (Pyrolusit) als Depolarisator benutzt; die erregende Flüssigkeit für das Zink besteht aus einer Salmiaklösung. Der Erfinder dieser Art Elemente ist der Franzose Leclanché. Die elektromotorische Kraft dieser Elemente ist bedeutend stärker als die des Daniellschen und der Widerstand geringer, weil der Braunstein ein ziemlich guter Leiter ist. Das Zink wird viel sparsamer verbraucht, als in anderen Elementen, weil dasselbe sich nur im Betriebe löst. Von der Kälte wird das Element in seiner Wirksamkeit kaum gestört. Als Haupttypus dieser Klasse ist zu nennen:

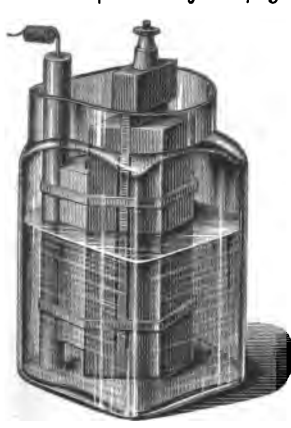


Fig. 91.

1) Das Leclanché-Element, ältere Form; dasselbe enthält in der porösen Zelle ein viereckig-prismatisches Stück Gasretortenkoks, welches von einem Gemisch aus grob gepulvertem Koks und Braunstein umgeben ist. Das äußere Gefäß enthält einen in Salmiaklösung eingetauchten Zinkcylinder. Das Zink verbindet sich mit dem Chlor des Salmiak zu Chlorzink, während in der andern Abteilung sich Ammoniak und Wasser bilden.

Die neuere Form dieses Elementes zeigt Fig. 91. Die poröse Zelle ist hier weggelassen. Die flache Koelselektrode ist hier beiderseits mit einer dicken Platte bedeckt, die aus einer Mischung von Kohlenpulver, Braunstein und Schellack hergestellt ist. Die stangenförmig-cylindrische Zinkelektrode ist durch ein Prisma aus Kautschuk von der Kohlenelektrode isoliert, mit derselben aber durch Kautschukbänder fest verbunden und das Ganze in die Salmiaklösung eingetaucht. Ein derartiges Element soll Jahr und Tag ohne Fürsorge im Betriebe bleiben können. In der Leistung sollen drei Leclanché-Elemente nahezu fünf Daniell-Elemente ersetzen können.

2) Ein modifiziertes Leclanché-Element illustriert Fig. 92 a und 92 b. Die positive Elektrode besteht aus einer runden Zinkstange die negative aus einem Koelscylinder in poröser Zelle, umgeben von einem Gemisch aus gekörntem Braunstein, Gasretortenkoks und Quecksilberchlorür (Calomel). Diese Substanzen werden mit etwas Wasser zu Brei gerührt, und in den Zwischenraum der porösen Zelle gefüllt. Nach der Füllung wird die Zelle mit einem Kitt aus Wachs und Pech geschlossen und nur ein paar kleine Löcher zum Entweichen des Gases freigegeben. Beide Elektroden sind wie in Fig. 92 a durch Gummibänder isoliert verbunden. Das Glasgefäß enthält eine gesättigte Salmiaklösung. Fig. 92 b zeigt ein derartig konstruiertes transportables Element für medizinischen Gebrauch. Es ist hierbei die Mischung aus Koks, Braunstein und Quecksilberchlorür in ein Leinwandsäckchen eingeschlossen und zwischen zwei mit Löschpapier umwickelte Zinkplatten gebracht; das Ganze wird mit Salmiaklösung stark angefeuchtet. Das Gefäß besteht aus Ebonit.



Fig. 92 a. Fig. 92 b.

3) Das Howellsche Element (Fig. 93 S. 136) ist mit besonderer Rücksicht auf Ausdauer konstruiert. Dieser Zweck wird durch die Benutzung zweier Zellen, eines porösen und eines mit schlitzförmigen Öffnungen versehenen Thoncylinders (Separators) erreicht. Das äußere Gefäß A besteht aus Steingut, ebenso der Cylinder B, der mit den verticalen schlitzförmigen Öffnungen versehen ist. Innerhalb derselben steht die poröse Zelle C, welche die Zinkstange Z

enthält, welche durch etwas eingegossenes Quecksilber im amalgamierten Zustande erhalten wird. In dem Raume zwischen dem äußern Gefäße und dem Separator ist die Kohlen- oder Koksstange K placiert; dieselbe ist mit einer Messinghaube zur Befestigung des Ableitungsdrahtes versehen; um diese Kohlenelektrode herum ist eine Mischung von Graphit und Braunstein in grob gepulvertem Zustande gepackt; zur bessern Wirkung wird etwas schwefelsaures Manganoxydul der Mischung zugesetzt und darüber wird eine Schicht bituminöser Kohlenmasse festgestampft, die mit einigen Löchern zum Entweichen der Gase versehen ist. Der Raum zwischen dem Separator und der porösen Zelle wird mit verdünnter Schwefelsäure (1 Teil Säure auf 4 Teile Wasser) gefüllt, und in die poröse Zelle wird eine Lösung von schwefelsaurem Ammoniak gegossen (25 gr krystallisiertes Salz auf 1 l Wasser). Die elektromotorische Kraft dieses Elementes soll bedeutend höher sein, als die des Leclanché-Elementes, und der innere Widerstand nicht höher sein.

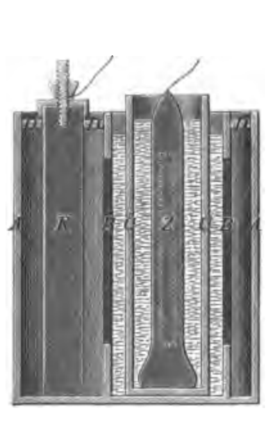


Fig. 93.

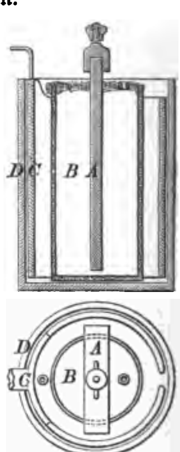


Fig. 94.

4) Ein transportables Leclanché-Element für Minen- und Torpedozündung illustriert Fig. 94 im Vertical- und Horizontaldurchschnitt. A ist eine flache Kohlenplatte; B eine Filzzelle; C ein amalgamierter Zinkcylinder; D das äußere aus

Ebonit bestehende Gefäß. In der Filzzelle befindet sich die Kohlenplatte umgeben von einem Gemisch aus grob gepulverter Kohle und Braunstein, während das äußere Gefäß eine Salmiaklösung enthält. Zehn solcher Elemente auf Spannung verbunden werden in einem Kasten zu einer Entzündungsbatterie vereinigt.

94. Wie verhalten sich die verschiedenen galvanischen Elemente hinsichtlich ihrer Leistung oder äußern Arbeit zu einander?

Zur Vergleichung der wichtigsten Elemente hat Reynier die folgende Formel aufgestellt und danach eine Tabelle berechnet. Ist E die elektromotorische Kraft, R der innere Widerstand und T die äußere maximale Arbeit in Meterkilogramm, so gilt die Gleichung:

$$T = \frac{E^2}{4R \cdot 9.81}.$$

Bezeichnung des Elementes	E	R	T
Bunsen cylindrisch 20 cm hoch	1.80 Volt	0.24 Ohm	0.344
Bunsen parallelipipedisch 20 cm hoch	1.80 „	0.06 „	1.378
Daniell 20 cm hoch	1.06 „	2.80 „	0.010
Carré 20 cm hoch	1.06 „	0.12 „	0.238
Reynier 20 cm hoch	1.35 „	0.075 „	0.619

95. Was versteht man unter der elektromotorischen Kraft eines Elementes?

Die elektromotorische Kraft eines Elementes, welche mit E bezeichnet wird, bestimmt sich im allgemeinen durch die Stellung des zu den Elektroden gewählten Materials in der Spannungsreihe (S. 112) und es ist diese sogenannte erste Konstante des Elementes wohl zu unterscheiden von der Stromstärke oder Stromintensität (vergl. S. 39). Die Stromstärke (J) wird gebildet durch die Quotienten aus der elektromotorischen Kraft dividiert durch den Widerstand (W) des Schließungskreises, wonach also ist:

$$J = \frac{E}{W}.$$

96. Was versteht man unter dem wesentlichen Widerstande eines Elementes?

Der wesentliche Widerstand eines Elementes wird bedingt durch den Widerstand, welchen die Flüssigkeiten der Batterie dem Durchgange des elektrischen Stromes entgegensetzen; da nun in gewissen

Kombinationen der galvanischen Elemente dieser innere Widerstand einen wesentlichen Anteil an der Leistungsfähigkeit eines Elementes hat, so wird derselbe als „wesentlicher Widerstand“ (R) bezeichnet, zum Unterschiede von dem Widerstande des metallischen Leiters außerhalb der Batterie, welcher „außerwesentlicher Widerstand“ (W) heißt. Hiernach drückt sich die Stromstärke aus durch

$$J = \frac{E}{W + R}.$$

Das Wesen des innern Widerstandes besteht in der durch denselben bedingten Verzögerung der zur Stromesbildung erforderlichen chemischen Zersetzung, indem er die zum Polarstellen der Teilchen des Elektrolytes erforderliche Zeit bestimmt, welche in jedem Falle dem Widerstande proportional ist. Dieser Widerstand ist die zweite Konstante des Elementes.

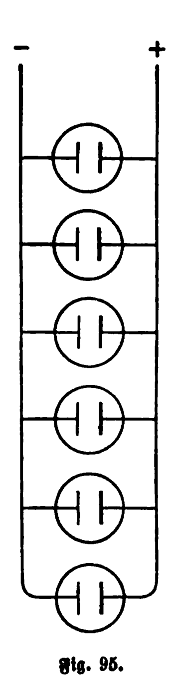


Fig. 95.

97. Wie verbindet man eine Anzahl galvanischer Elemente auf Quantität und wie auf Spannung oder Intensität?

Verbindet man eine Anzahl z. B. sechs Stück in der Weise, wie Fig. 95 illustriert, so daß sämtliche positive Elektroden mit dem einen Leitungsdrahte und sämtliche negative Elektroden mit dem negativen Leitungsdrahte vereinigt werden, so erhält man dieselbe Wirkung, als wenn man ein Element verwendete, dessen beide Elektroden im angenommenen Falle eine sechsmal so große Fläche bei gleichem gegenseitigen Abstande besäßen. Da die elektromotorische Kraft durch die Stellung der Elektroden in der Spannungsreihe bedingt wird, so ist demzufolge für diese Kombination die elektromotorische Kraft gleich derjenigen des Einzelelementes, d. i. = E, während der innere Widerstand der Kombination nur ein Sechstel vom Widerstand R des Einzelelementes beträgt, also gleich $\frac{R}{6}$ ist. Für die Stromstärke J n der Kombination Fig. 95 gilt also für n Elemente im allgemeinen die Gleichung:

$$J n = \frac{n E}{R},$$

d. h. die Stromstärke ist nmal so groß, als die Stromstärke J des einfachen Elementes.

Verbindet man dagegen die n Elemente in der Weise, wie Fig. 96 darstellt, indem man immer zwei entgegengesetzt polare

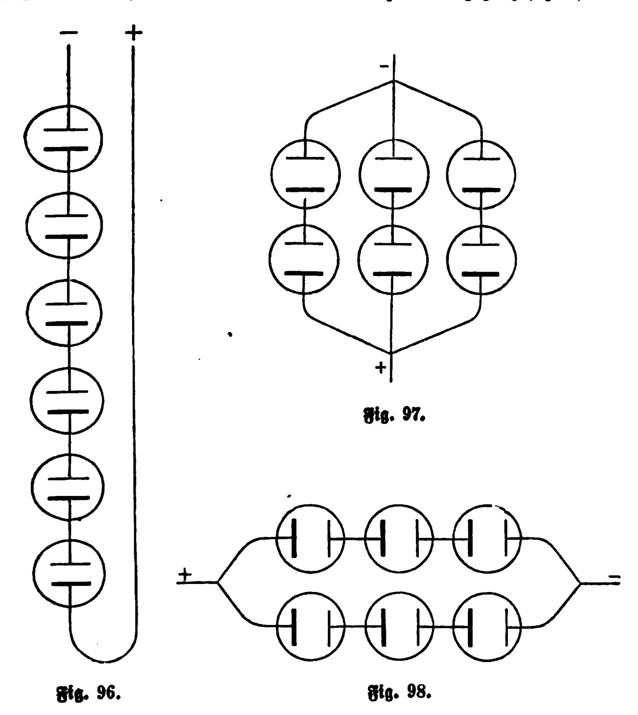


Fig. 96. Fig. 97. Fig. 98.

Elektroden mit einander vereinigt, so hat jedes Element die elektromotorische Kraft E mit dem innern Widerstande R, so daß also sowohl die elektromotorische Kraft, als auch der innere oder wesentliche Widerstand der Kombination nmal so groß wird, als im Einzelelement, so daß daher für die Stromstärke J n bei kurzem Schluß die Gleichung gilt:

$$J n = \frac{n E}{n R} = \frac{E}{R},$$

d. h. die Stromstärke ist bei kurzem Schluß gleich der Stromstärke des Einzelelementes. Ist dagegen der äußere Widerstand W gegen n R sehr groß, so daß n W gegen w vernachlässigt werden kann, so gilt die Gleichung:

$$J n = \frac{n E}{W},$$

d. h. bei großem äußern Widerstande wächst auch bei der Kombination Fig. 96, d. h. bei der Spannungs- oder Reihenschaltung, die Stromstärke proportional zur Anzahl der Elemente.

Verbindet man z. B. sechs Elemente auf die in Fig. 97 dargestellte Weise, so sind in diesem Falle drei Elemente parallel, d. i. auf dreifache Vergrößerung der Elektrodenflächen und diese beiden dreifachen Elemente alsdann in einer Reihe, d. i. auf Spannung geschaltet. Die elektromotorische Kraft E ist daher verdoppelt, der innere Widerstand aber auf $\frac{2}{3}$ reduziert.

Werden endlich die sechs Elemente wie in Fig. 98 geschaltet, so sind zwei Reihen von je drei Elementen parallel geschaltet und es ist daher die elektromotorische Kraft = 3 E und der innere Widerstand = $\frac{3}{2}$ R.

Sechzehntes Kapitel.

Die Sekundärbatterien oder Akkumulatoren und deren Regulierapparate.

98. Was versteht man unter Sekundärbatterien oder Akkumulatoren?

Sekundärbatterien oder Akkumulatoren, auch Polarisationsbatterien sind elektrolytische Vorrichtungen, deren Elektroden durch einen längere Zeit hindurchgeleiteten elektrischen Strom stark polarisiert werden können, weshalb man dieselben auch Polarisationsbatterien nennt. Auf diese Weise wird in solchen Batterien eine gewisse Menge elektrochemischer Energie angesammelt, welche alsdann zu einer beliebigen, natürlicherweise nicht zu lange hinausgeschobenen Zeit in umgekehrter Stromrichtung wieder abgegeben und nutzbar gemacht werden kann.

Wird z. B. mittels eines elektrischen Stromes Wasser zersetzt, wobei man das sich bildende Wasserstoff- und Sauerstoffgas jedes

für sich in einer umgestürzten Glasglocke, die unter Wasser eingetaucht ist, auffängt, so kann man umgekehrt einen galvanischen Strom erhalten, wenn man das Wasser, worin die zur Zersetzung benutzten Platinelektroden eintauchen, ansäuert und die beiden Elektroden unter sich durch einen Stromkreis verbindet. Auf diese Weise hat Grove das sogenannte Gaselement hergestellt, welches als die erste Sekundärbatterie zu betrachten ist. Eine andere, ältere Sekundärbatterie rührt von Gaston Planté her. Dieselbe bestand in ihrer ursprünglichen Form aus zwei dünnen, etwa 10 cm breiten und möglichst langen Bleistreifen, welche mit einer Zwischenlage von grober Leinwand zusammengerollt wurden, worauf man die Rolle in ein Gefäß, das mit angesäuertem Wasser angefüllt war, stellte. Um den Apparat zu laden, werden dessen Elektroden, d. h. dessen beide durch die Leinwand von einander isolierten Bleistreifen mit den Polen eines Elektrogenerators (etwa einer starken galvanischen Batterie) verbunden. Der durch die Bleistreifen geleitete Strom zersetzt alsdann das Wasser und der mit dem negativen Pol des Elektrogenerators verbundene Bleistreifen überzieht sich mit Wasserstoffbläschen, so daß seine Oberfläche vollständig sauerstofffrei und positiv elektrisch wird, während der andere Bleistreifen, der mit dem negativen Pole verbunden ist, sich mit Bleisuperoxyd bedeckt und folglich zuletzt sich zur Wasserstoffaufnahme geneigt oder negativ elektrisch zeigt. Ist auf diese Weise eine vollständige Polarisation der Bleistreifen erreicht, so ist die Sekundärbatterie geladen und der Akkumulator zur umgekehrten Stromabgabe bereit.

Eine Abänderung in der Herstellung solcher Batterien wurde mit Rücksicht auf Zeitersparnis von Camillo Faure in Vorschlag gebracht; danach wurden die Bleiplatten zuerst mit einem Überzug von Mennige, einer Verbindung von Bleioxyd (PbO) und Bleisesquioxyd (Pb_2O_3) versehen. Das Verfahren war dabei das folgende: Die Streifen oder Platten werden aus 1 bis 1.5 mm dickem Bleiblech in etwa 50 cm Länge und 20 cm Breite zugeschnitten und je mit 700 bis 800 gr eines Breies aus Stärkekleister und Mennige bestrichen. Der Anstrich wird hierauf mit Pergamentpapier bedeckt und das Ganze in ein wollenes Gewebe eingehüllt, alsdann werden die beiden Platten auf einander gelegt und so zusammengerollt, daß zwischen ihnen etwas Luft bleibt, worauf man die Rolle in ein mit verdünnter Schwefelsäure gefülltes Gefäß steckt.

Fig. 99 S. 142 stellt ein solches nach Faures Methode angefertigtes Sekundärelement dar.

Von Sellon und Volckmann werden durchlöcherte, eigentümlich gebogene oder mit Rippen versehene oder aus Bleiblech oder Bleiguß hergestellte Platten zur Herstellung von Sekundärbatterien



Fig. 99.

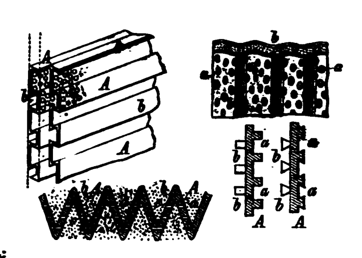


Fig. 100.

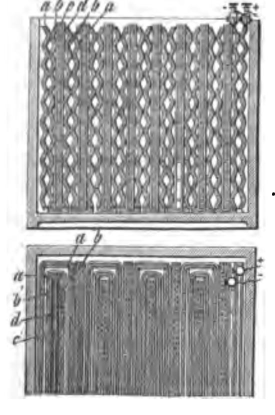


Fig. 101.

verwendet, wobei die Vertiefungen und Hohlräume der Platten mit sogenanntem Bleischwamm ausgefüllt werden. Fig. 100 zeigt derartige Formen. A A sind im Zickzack, oder schwalbenschwanzförmig gebogene, gewellte oder mit Rippen versehene und außerdem durchlöcherte Bleiplatten. Die Löcher a, die Vertiefungen b und c, sowie die Zwischenräume zweier benachbarter Platten sind mit Bleischwamm gefüllt. Bei etwa 200 kg Gewicht soll eine aus solchen Platten hergestellte Sekundärbatterie eine so starke Ladung aufnehmen können, daß sie eine Stunde lang eine Pferdestärke abgiebt.

Der Akkumulator der Société universelle in Paris (Fig. 101) ist ähnlich konstruiert, denn er besteht ebenfalls aus zwei gewellten und gefalteten Bleiplatten, wie aus Fig. 102 im Vertical- und

Horizontaldurchschnitt ersichtlich ist. In die Falte der innern Platte b ist aber noch außerdem eine dritte Platte c und zwischen die äußeren Seiten der äußern Platte a eine Platte d eingesetzt. Diese äußeren Platten sind mit Bleidraht umwunden, um die Flächen zu ver-

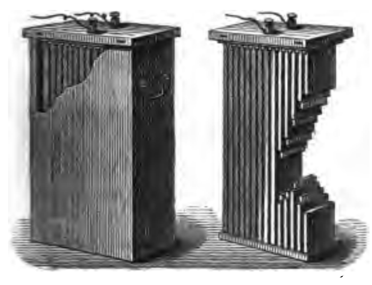


Fig. 102.

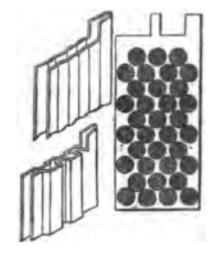


Fig. 103.

größern. Alle Platten sind durchlöchert, damit die Flüssigkeit durch dieselben zirkulieren kann.

Der Akkumulator von Kobath in Paris scheint einer der vollkommensten Apparate dieser Art zu sein; derselbe wird in drei Größen ausgeführt, von denen der kleinste Apparat 6 kg, der größte 36 kg wiegt. Der Apparat besteht aus abwechselnd geraden und gewellten aneinandergelegten Bleiblechstreifen von 0.1 mm Dicke, welche von stärkeren durchlöcherten Bleiplatten zusammengehalten werden. Ein so hergestelltes Element von 8 bis 9 cm Breite enthält 80 bis 100 dünne Bleiblechstreifen.

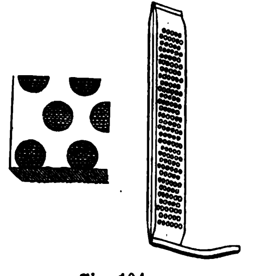


Fig. 104.

Fig. 102 zeigt den Apparat von außen und innen und Fig. 103 und Fig. 104 zeigen die verschiedenartige Herstellung einzelner Elemente.

In der einfachsten Form besteht ein solches Element aus einem dünnen Bleiblech, das um ein dickeres, welches als Träger dient, herumgewunden ist; die Bleche können hierbei glatt oder gewellt sein. Das Ganze wird in ein Blatt Pergamentpapier eingewickelt

und in verdünnte Schwefelsäure eingetaucht, um zuerst den Blechen einen Überzug von schwefelsaurem Blei zu geben.

Bei einer neuern Anordnung sind die Elemente in Holzkästen zu einer Batterie vereinigt. Hierbei werden die Elemente zwischen gefalzte Glasplatten eingeschoben, wie Fig. 105 zeigt. Die Kästen sind mit Ebonitplatten ausgefüttert, welche mittels Paraffin an das Holz angekittet sind. Die einzelnen Elemente sind mit emporragenden Bleistreifen (Fig. 106) versehen, welche passend gebogen und durch Klemmen mittels eines über Fig. 105 sichtbaren Zwischenstückes, gegen welches sich die Schrauben stemmen, vereinigt sind. Dieses Zwischenstück verhütet das Verdrücken des weichen Bleies durch die Schrauben. Um die Bleiplatten zu präparieren wird der Trog (Fig. 106) mit einer abgekühlten Mischung aus destilliertem Wasser und Schwefelsäure gefüllt und ein elektrischer Strom durch die Platten geführt. Der Prozeß der Präparierung dauert mehrere Tage und wird dabei der Strom mehrmals umgekehrt, damit die Oberfläche der Platten gehörig porös wird und eine genügend dicke Schicht von Bleischwamm sich darauf bildet. Die Oxydation dringt dabei bis in die Mitte der Blechdicke hinein.

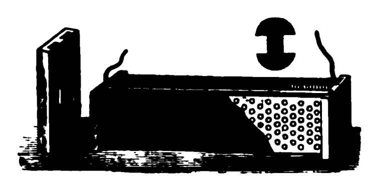


Fig. 105.

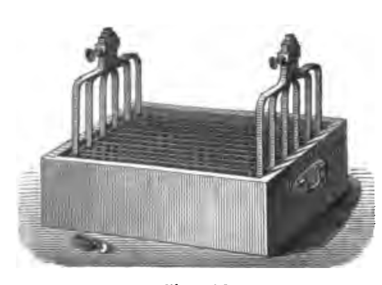


Fig. 106.

Eine andere, von de Meritens erfundene Form der Sekundärbatterie zeigt Fig. 107 S. 145. Dieselbe besteht aus einem Bleiblech von 2 mm Dicke, welches in der abgebildeten Weise zusammengebogen ist, so daß die Flächen des Bleches sich bei b, d, f u. s. w. berühren und eine Reihe von Trögen a[1], c, e u. s. w. bilden; diese Tröge sind mit Bleiplatten von 0.2 mm Dicke vollständig ausgefüllt, so daß dieselben unter einander und mit den sie umschließenden Seiten des Hauptbleches in Berührung sind. Damit alle Bleiplatten mit

dem Stück P, welches einen der Pole (eine Elektrode) der Batterie bildet, in sicherer Verbindung stehen, werden die ganzen Seiten a′, a, b, c, d, e u. s. w. zusammengelötet. Zwei solche Teile wie der abgebildete werden in einen Ebonitkasten gebracht, so daß sie 5 mm auseinander stehen. Ein derartiges Paar bildet ein Element. Auf der elektrischen Ausstellung zu Paris (1881) waren solche Elemente zu sehen von 9 cm Breite, 10 cm Höhe und 2 cm Dicke. Die Flüssigkeit, in welche sie eingetaucht sind, besteht aus verdünnter Schwefelsäure. Bei der großen Fläche, die ein solches Element hat, vermag dasselbe bei etwa 2 kg Gewicht eine starke elektrische Ladung aufzunehmen.



Fig. 107.

Unter den verschiedenen Formen der Sekundärbatterien hat die von Faure, mit welcher Sir William Thomson Versuche angestellt hat, besondern Ruf erlangt. Fig. 108 zeigt eine derartige aus einem einzigen Element bestehende Batterie, welche einen kleinen Elektromotor betreibt. In Fig. 109 S. 146 ist eine mit Kommutator versehene Batterie abgebildet, welche auf Quantität oder auf Intensität

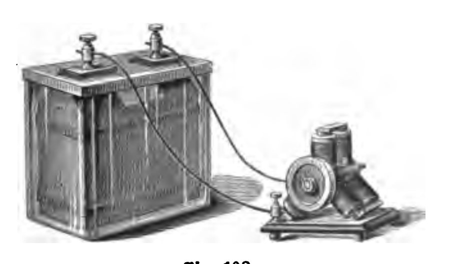


Fig. 108.

eingestellt werden kann. Fig. 110 zeigt die Anordnungsweise der Bleiplatten und Fig. 111 stellt den Kommutator im Längsdurchschnitt

bar. Diese Batterie ist in ihrer Anwendung auf den Betrieb einer elektrischen Glühlampe dargestellt. Die Platten in der Versuchsbatterie waren von reinem Blei, 0.1 mm dick, 18 cm breit und hoch mit einem vorstehenden Streifen von 3.8 cm Breite und 7.6 cm Höhe versehen. Die Gesamtoberfläche einer solchen Platte (beide Seiten zusammen) beträgt 645 qcm. Zehn solcher Platten sind genügend für ein Element zu gewöhnlichem Gebrauche, das ungefähr 4 Daniell-Elementen entspricht. Diese Sekundärelemente werden in folgender Weise hergestellt: Es werden eine genügende



Fig. 109.

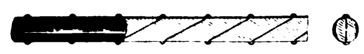


Fig. 110.



Fig. 111.

Anzahl Bleiplatten von 18 cm im Quadrat und Flanellstücke von etwa 38 cm Länge und 20 cm Breite und eben so viel Blätter Löschpapier von 20 cm im Quadrat zugeschnitten. Hierauf wird eine dicke Farbe von Mennige mit Wasser das 1/10 Schwefelsäure enthält angerührt und diese teigartige Farbe wird mit einem steifen breiten Pinsel auf die eine Seite der Bleiplatten gestrichen; ferner werden auch die Flanellstücke auf der glatten Seite in etwa Fingerbreite mit der Farbe bestrichen und dann wird auf das Flanellstück eine Bleiplatte mit der bestrichenen Seite gelegt und das Flanellstück über die Platte hinweggeschlagen, wie Fig. 110 zeigt, so daß diese ganz eingehüllt ist und das Flanellstück etwa 1 cm breit ringsum übersteht und nur der vorstehende Streifen der Bleiplatte frei bleibt. Hierauf wird die so umhüllte Bleiplatte auf ein glattes Brett gelegt und eine andere Bleiplatte in derselben Weise präpariert, worauf

man dieselbe mit Zwischenlage von einem Blatt Löschpapier auf die erste Platte legt und so fort, bis zehn solche Platten übereinander liegen, welche man alsdann mit zwei Kautschukbändern zusammenpreßt und in ein Gefäß mit schwefelsäurehaltigem Wasser einsenkt; die vorstehenden Streifen der Platten werden auf jeder Seite zusammengedrückt und durch zwei Schlitze des Gefäßdeckels gesteckt, wie aus Fig. 108 ersichtlich ist. Wenn die Batterie mit vier Groveschen Elementen verbunden wird, so sammelt sie in einer Stunde so viel Elektrizität in sich auf, daß damit ein 4 cm langer feiner Platindraht zum Rotglühen erhitzt, ein starker Elektromagnet magnetisiert und ein kleiner Elektromotor mit rascher Umdrehung eine Viertelstunde lang in Betrieb erhalten werden kann, der zu seinem Betrieb mindestens zehn solcher Elemente erfordert, wie die Sekundärbatterie deren vier zum Laden erfordert hat. Es ist nachgewiesen, daß diese Sekundärbatterie ihre Ladung längere Zeit hindurch erhalten kann und nach zwölf Stunden kaum eine Schwächung ihrer Ladung zeigt.

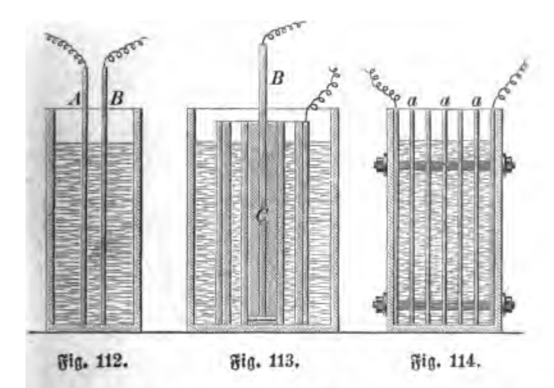


Fig. 112. Fig. 113. Fig. 114.

Fig. 112, 113 und 114 zeigen einige Formen von Akkumulatoren, welche sich C. Faure in Paris neuerdings hat patentieren lassen. Die Platten bestehen vorzugsweise aus Blei und sind mit einer Schicht von Metallsalzen oder Metalloxyden vermischt mit Schwefelblei und pulverisierten Koks bekleidet. Wenn zwei so präparierte Elemente in verdünnte Schwefelsäure eingetaucht und mit einer Elektrizitätsquelle in Verbindung gesetzt werden, so werden die Salze auf der einen

Platte reduziert und bilden eine fest anhaftende poröse Schicht. Wird alsdann der Strom umgekehrt, so wird die andere Platte ähnlich affiziert und die erste Platte wird oxydiert, so daß ein galvanisches Paar gebildet wird. Fig. 112 ist eine Batterie mit zwei ebenen Platten A und B, Fig. 113 eine Batterie mit cylindrisch gebogenen Platten und Fig. 114 eine Batterie mit flachen Platten, welche zu Zellen mit einander vereinigt sind. In Fig. 113 ist B eine zentrale Stange aus Blei oder Kohle, welche in den aus porösem Material bestehenden Cylinder C eingeschlossen ist; der ringförmige Raum zwischen C und dem Zentralelement wird zuerst mit Schwefelblei und Koks gefüllt. In Fig. 114 sind a a a Bleiplatten von etwa 1 qm Fläche, die durch Kautschukstreifen von einander getrennt sind und durch diese festgehalten werden. Dergleichen Batterien sollen vom Erfinder zum Betriebe von Fuhrwerken und Booten benutzt werden.

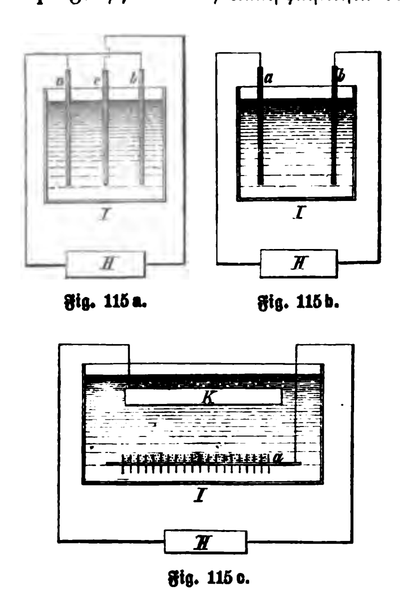


Fig. 115 a. Fig. 115 b.

Fig. 115 c.

Bei dem neuen Akkumulator von Brush (Fig. 115) sollen gewisse Übelstände, die hauptsächlich in der geringen Kohäsion des Bleioxydüberzuges bestehen, vermieden werden, so daß der Überzug die nötige Dicke erhält und doch nicht beim Laden und Entladen infolge der Anschwellung und darauffolgenden Zusammenziehung abblättert. Die Bleiplatten werden in der gewöhnlichen Weise verbunden und ein elektrischer Strom hindurchgeführt. Eine der Platten bleibt unverändert und bildet das positive Sauerstoffelement, während die andere die umgekehrte Ladung erhält und das Wasserstoffelement abgiebt.

In Fig. 115a sind die Platten a b mit dem Sauerstoff produzierenden d. i. elektronegativen Pole eines Elektrizitätserzeugers H verbunden; die dritte, mittlere Platte c steht mit dem Wasserstoffpole in Verbindung. In Fig. 115b sind die Platten a, b als Batterie angeordnet und geladen. Das Gefäß I kann von Metall sein und bildet die Platte c oder dieses Element kann aus einer oder mehreren vorher umgekehrt geladenen Platten bestehen, welche daher ohne weitere Behandlung mit den anderen geladenen Platten a und b zu einer Batterie vereint werden können. Es ist zur Präparierung der Platten eine mehrere Monate andauernde kontinuierliche oder intermittierende Ladung nötig, um einen genügend dicken, kohärenten Überzug von Bleihyperoxyd zu bilden, aber der Prozeß der Umkehrung der Ladung der einen Platte erfordert nur wenige Stunden. Es können glatte, gewellte oder gerippte Platten verwendet werden; die letzteren beiden Arten von Platten sind besonders zur Aufnahme des Überzugs geeignet. Zu dem Zweck werden die vertieften Stellen der Platten mit Mennige gefüllt und die Platte dann wie in Fig. 115c in eine Lösung von kaustischem Natron oder Kali gebracht, um einen Niederschlag zu erzeugen; H ist der Elektrizitätserzeuger, I das Bad und K die Bleiplatte. Wenn die Höhlungen auf der einen Seite gefüllt sind, so wird die Platte auf der andern Seite in gleicher Weise präpariert.

D'Arsonval hat eine Sekundärbatterie aus einer positiven Zinkelektrode in Chlorzinklösung und einer negativen Silberelektrode in salpetersaurer Lösung hergestellt. Es wird hierbei Chlorsilber gebildet. Diese Batterie ist sehr konstant und besitzt eine elektromotorische Kraft von 1,5 Volt. Man hat auch versucht, mit Benutzung von Kohlenelektroden solche Batterien herzustellen.

99. Was ist bei der Ladung einer Sekundärbatterie zu beobachten?

Die Ladung kann mit jedem Elektrizitätserzeuger erfolgen, vorausgesetzt, daß dessen elektromotorische Kraft gleich derjenigen der Sekundärbatterie ist. Am besten ist diese Ladung mittels magnetelektrischer Maschinen zu bewirken, deren elektromotorische Kraft etwas größer ist, als diejenige der Sekundärbatterien, und welche ganz regelmäßig betrieben werden. Bei der Anwendung von Dynamomaschinen tritt leicht der Übelstand ein, daß dieselben die Stromrichtung umkehren, sobald der Akkumulator eine gewisse Ladung aufgenommen hat.

Zur Kontrollierung der Ladung und um zu verhüten, daß der bereits bis zu einer gewissen Kapazität geladene Akkumulator sich in die zufällig mit verringerter Geschwindigkeit rotierende elektrische Maschine wieder entlade, hat man besondere automatische Ausschalter konstruiert, welche die Verbindung der Stromquelle mit dem Akkumulator unterbrechen, sobald eine gewisse Stromstärke überschritten wird.

Zur Untersuchung der Pole der geladenen Batterie wird die sogenannte Prüfungsglocke von Barbier Pierrot benutzt, welche Fig. 116 illustriert. Bei diesem Apparate bildet die Glocke selbst den Behälter für den Mechanismus; sie ist mit einem Handgriffe versehen, mit welchem sie an die Pole der Batterie gebracht werden kann. Die Stärke des Glockentones zeigt die Stromstärke an, während die Stromrichtung durch kleine bewegliche Signale + oder — angezeigt wird, von denen das eine die Zeichen — + und das andere + —, je nach der Stromrichtung bezeichnet. Die Verschiebung des Schirmes vor den Signalen wird durch eine Magnetnadel bewirkt, welche unter dem Einflusse des Stromes, der durch den Magnet hindurchgeht, sich nach der einen oder andern Richtung bewegt.

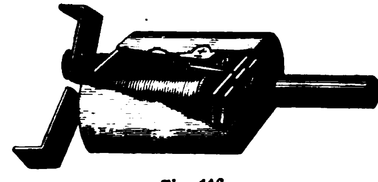


Fig. 116.

Siebzehntes Kapitel.

Die Umschalter und Stromwechsler.

100. Was versteht man unter einem Umschalter?

Ein Umschalter oder Stromunterbrecher ist ein Apparat, mit welchem man einen elektrischen Stromkreis rasch öffnen und schließen kann. Fig. 117 zeigt einen Umschalter von Hodges; derselbe ist mit zwei lose in Führungen sitzenden Metallcylindern D D versehen, welche mittels des Handgriffes durch eine Drehung mit den Klemmen B B des Stromkreises in Kontakt treten und so den Stromkreis schließen. Durch eine weitere Drehung gelangen die

Cylinder auf die nicht leitenden Flächen A A, so daß der Strom unterbrochen wird. Bei K ist ein Anschlag, um eine zu große Drehung zu verhindern.

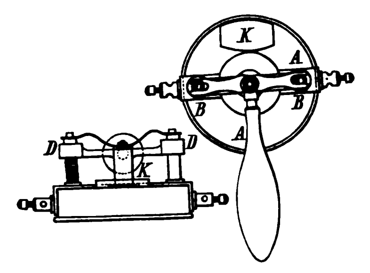


Fig. 117.

Einen sehr kräftigen Umschalter stellt Fig. 118 dar. Auf dem Brette D sitzen die Klemmen X Y, worin die Enden des Stromkreises befestigt sind. Mit diesen Klemmen stehen die starken Blattfedern M N in leitender Verbindung. In einem Gabelstück A B befindet sich der mittels des Handgriffes H drehbare Klotz C, durch dessen Drehung die Federn M N fest gegen die Schenkel des Gabelstückes A B gepreßt werden, so daß dadurch der Stromschluß in sehr sicherer Weise hergestellt wird.



Fig. 118.

101. Wie ist ein Stromwechsler eingerichtet?

Stromwechsler sind Vorrichtungen, durch welche der Strom nicht nur unterbrochen sondern auch in seiner Richtung umgekehrt werden kann. Eine gewöhnliche, gute Konstruktion ist die folgende: Ein kurzer, starker Cylinder aus Elfenbein oder Ebonit ist mittels eines Handgriffes um seine Axe drehbar und in der Axenrichtung an seinem Umfange mit zwei diametral gegenüberliegenden Streifen aus Messing oder Kupfer versehen. Mit diesen Leitungsstreifen

stehen zwei von einander isolierte, in die Grundflächen des Cylinders längs der Axe eingelassene, mit den Polen des betreffenden Elektrizitätserzeugers verbundene Drähte in Verbindung. Ferner sind mit

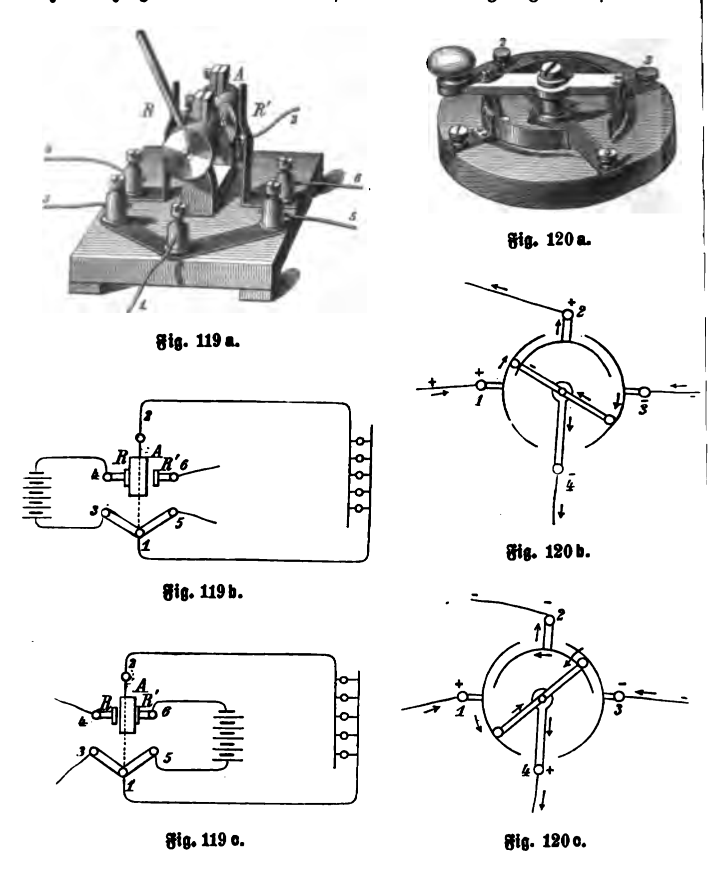


Fig. 119 a. Fig. 120 a.

Fig. 119 b. Fig. 120 b.

Fig. 119 c. Fig. 120 c.

den Klemmen des Elektrizitätserzeugers noch zwei Blattfedern ähnlich wie in Fig. 118 verbunden, welche auf dem Cylinderumfange aufliegen. So lange diese Federn die Leitungsstreifen des Stromwechslers

nicht berühren, ist der Stromkreis offen, wenn aber durch Drehung des Cylinders der Kontakt hergestellt wird, geschlossen; durch Drehung des Cylinders um 180° wird dann der Strom umgekehrt. Besondere Stromwechslerkonstruktionen kommen bei dem Betriebe mit Akkumulatoren vor.

Fig. 119 a zeigt den sogenannten Reynierschen Umschalter, der aber eigentlich nur ein Unterbrecher ist; derselbe dient dazu, momentan eine Akkumulatorbatterie durch eine andere zu ersetzen. Die an der einen Seite befindlichen Klemmen 3 und 4 bilden den Ausgangspunkt für den Stromkreis zweier Akkumulatorbatterien. Die Klemmen 1 und 2 nehmen die Enden des allgemeinen Stromkreises auf, worin sich z. B. eine Reihe Glühlampen eingeschaltet befindet (Fig. 119 b und 119 c). Das Exzenter A kann durch den Kontakt mit der Feder R oder R′ in Verbindung mit den Klemmen 4 oder 6 gebracht werden. Die Klemmen 1, 3 und 5 stehen mit einander in Verbindung. Je nach der Stellung des Exzenters befinden sich die Lampen im Stromkreise der einen oder der andern Akkumulatorbatterie.

Der Jubetsche Stromwechsler (Fig. 120 a) dient zur Umkehrung der Akkumulatorpole. In der Stellung, welche Fig. 120 b zeigt, tritt der Strom durch die Klemme 1 in den Apparat ein, geht mittels des metallnen, auf zwei halbkreisförmigen Federn reibenden Drehlings durch die Klemme 2, kehrt durch die Klemme 3 zurück und tritt durch die Klemme 4 aus. Fig. 120 c zeigt, wie die Pole umgekehrt werden können; die Klemme 2 wird alsdann negativ und die Klemme 4 positiv. Aus der Totalansicht Fig. 120 a ist die Einrichtung deutlich sichtbar. — Andere Arten von Stromwechslern werden bei den elektrischen Maschinen besprochen werden.

Achtzehntes Kapitel.

Die thermoelektrischen Säulen und Batterien.

102. Unter welchen Umständen kommt die Thermoelektrizität zum Vorschein?

Thermoelektrizität entsteht, wenn ein geschlossener Leiter (also z. B. ein ringförmiger, an den Enden zusammengelöteter Draht) an einer Stelle erwärmt oder erkältet wird. Am stärksten tritt aber die Thermoelektrizität auf, wenn man an der Lötstelle zweier ver-

bundener Stäbe aus verschiedenen Metallen, d. i. einer geschlossenen thermoelektrischen Kette (z. B. Antimon und Wismuth), eine Temperaturdifferenz durch Erwärmung oder Erkältung hervorbringt. Jenachdem eine Erwärmung oder Erkältung an der Kontaktstelle einer thermoelektrischen Kette, oder auch nur einer Stelle in einem geschlossenen Leiter hervorgerufen wird, geht der elektrische Strom nach der einen oder nach der andern Richtung. Die Dauer eines thermoelektrischen Stromes ist gleich der Zeit, während welcher die Temperaturdifferenz in der geschlossenen thermoelektrischen Kette unterhalten wird. Das Metall, zu welchem durch die wärmere resp. erwärmte Kontaktstelle der positive Strom hinfließt, wird als das thermoelektrischpositive bezeichnet, wobei die unter Frage 4 bereits erwähnten Umstände bezüglich der Bezeichnung der Polarität des elektrischen Stromes mit in Betracht zu ziehen sind.

Die thermoelektrische Reihe für Temperaturunterschiede bis 100 ordnet sich etwa folgendermaßen:

+ Antimon,	Silber,	Messing,
Eisen,	Kupfer,	Platin,
Stahl,	Blei,	Neusilber,
Zink,	Quecksilber,	— Wismuth.

Die aus verschiedenen Versuchen ermittelten thermoelektrischen Reihen stimmen nicht überein, weil die innere Beschaffenheit der Metalle, d. h. deren Struktur, Beimischungen u. s. w., von bedeutendem Einflusse auf die Art und Weise der thermoelektrischen Erregung sind. So nehmen beispielsweise auch die verschiedenen Eisensorten eine verschiedene Stellung in der Reihe ein.

103. Was ist über die thermoelektrischen Ketten im allgemeinen zu bemerken?

Wird in der thermoelektrischen, beispielsweise aus Antimon- und Wismuthdraht gebildeten Kette Fig. 121 die Temperatur der Kontaktstellen a und b durch Erwärmung von a oder durch Erkältung von b in Differenz gebracht, so wird der erregte positiv elektrische Strom in der Richtung des eingezeichneten Pfeiles fließen und in dieser Richtung die Kette durchkreisen. Bei mehr als zwei nach einander zu einer Kette vereinigten Metallen, wie dies Fig. 122 illustriert, wo beispielsweise die Kette außer der Reihenfolge der thermoelektrischen Reihe aus auf einander folgenden Drähten von Eisen, Kupfer, Messing und Zink besteht, wird die thermoelektromotorische Kraftwirkung nach den beiden Kon-

taktstellen der Endglieder der Kette bestimmt. Werden z. B. mit Bezug auf Fig. 122 die Kontaktstellen a und b gleichmäßig erwärmt, so erhält man einen thermoelektrischen Strom, dessen Richtung und Stärke durch die thermoelektrische Differenz von

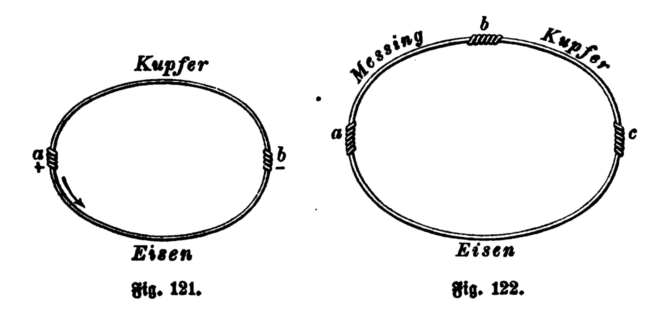


Fig. 121. Fig. 122.

Eisen und Kupfer bestimmt wird. Ist dabei der Grad der Erwärmung und die Beschaffenheit der beiden Metalle genau dieselbe, so erhält man in den beiden Fällen auch ganz dieselbe elektromotorische Kraftwirkung. Werden dagegen in Fig. 122 die Kontaktstellen a und c gleichmäßig erwärmt, so erhält man einen Strom zwischen Eisen und Messing, der in der Richtung vom Messing nach dem Eisen die Kette durchkreist.

Hiernach sind als die Endglieder einer thermoelektrischen Kette diejenigen beiden Metalle zu bezeichnen, welche durch die einzelne Lötstelle verbunden sind, deren Temperatur nur einmal im Schließungskreise vorkommt.

Durchaus nötig ist, daß die übrigen in der thermoelektrischen Kette vorhandenen Kontakt- oder Lötstellen gleiche Temperatur erhalten, weil nur dadurch elektrische Erregungen unter den anderen Metallen vermieden werden.

Die elektromotorische Kraft bleibt dieselbe, gleichviel ob die Metalle zur Herstellung des Kontaktes mit reinen Metallflächen zusammengepreßt oder zusammengelötet sind und ob unter sonst gleichen Umständen die Temperaturdifferenz durch Erwärmung oder Erkältung herbeigeführt wird. Vorzuziehen ist jedoch bei der Herstellung thermoelektrischer Ketten oder Batterien das Zusammenlöten der Metalle, weil alsdann am sichersten inniger Kontakt stattfindet.

104. Was ist über die Thermosäulen oder Thermobatterien im allgemeinen zu sagen?

Die einfachsten thermoelektrischen Batterien werden so zusammengefügt, daß die beiden heterogenen Metalle stets paarweis durch Lötung mit einander verbunden sind, so daß schließlich zwei heterogene Metalle die Pole oder Elektroden bilden. Werden dann in einer solchen Säule gleichzeitig alle auf der einen Seite liegenden Verbindungsstellen erwärmt, die auf der andern Seite befindlichen aber erkältet, so daß auf eine warme Lötstelle stets eine kalte folgt, so zeigt der von den Polen ausgehende Strom eine der Spannungsdifferenz der beiden heterogenen Metalle entsprechende und der Zahl der hintereinander zusammengefügten thermoelektrischen Elemente proportionale elektromotorische Kraft.

Die durch solche Thermobatterien erzeugten Ströme können auf dieselbe Weise wirken, wie elektrische Ströme überhaupt, d. h. man kann damit Licht, Wärme, chemische und physiologische Erscheinungen hervorbringen, jedoch sind die thermoelektrischen Ströme im allgemeinen schwach und die zu ihrer Erzeugung dienenden Batterien sind schwierig herzustellen und im wirksamen Zustande zu erhalten. Am besten eignen sich zu der Herstellung der Elemente gewisse Legierungen. Solche Legierungen stellte Marcus her: für das negative Metall aus zehn Gewichtsteilen Kupfer, sechs Teilen Zink und sechs Teilen Nickel; für das positive Metall zwölf Teile Antimon, fünf Teile Zink und ein Teil Wismuth.

105. Wie sind die Thermobatterien oder sog. Thermosäulen älterer Konstruktion beschaffen?

Munke beschreibt in Poggendorffs „Annalen" eine von ihm konstruierte Thermosäule größerer Art, welche die vorerwähnten Wirkungen ganz deutlich hervorbrachte. Dieselbe bestand aus 81 Paaren 34 mm langen, 10 mm breiten und 8 mm dicken Antimon- und Wismuthstangen. Die Stangenpaare waren in neun Reihen, jede zu neun Gliedern, vereinigt und hatten mit ihren acht metallischen Verbindungen auf jeder Seite der Säule neunzig Lötstellen. Die unteren Lötstellen befanden sich in einem blechernen Gefäße mit Eiswasser, während die oberen mit einer Kupferplatte bedeckt waren, auf welche glühende Kohlen gelegt wurden. Andere ebenfalls schon ältere Thermosäulen sind die von Nobili und Melloni, welche in verschiedenen Formen ausgeführt werden. Bei der einen Form sind die geraden vierseitigen Wismuth- und Antimon-

stäbchen so mit einander verbunden, daß die Lötstellen beiderseits eine quadratische Fläche bilden. Sämtliche Paare sind von einer cylindrischen Büchse umschlossen, in welcher sie unter sich und von dieser durch Ausgießen mit Gips isoliert sind. An dem äußern Umfange des Cylinders enden die beiden Pole der Säule in Schraubenklemmen; derartige Thermosäulen wurden besonders zu Untersuchungen über Berührungsphänomene und zu Strahlungsversuchen, sowie zu sehr genauen Temperaturbestimmungen benutzt.

106. Von welcher Konstruktion sind Clamonds neueste Thermosäulen?

Clamonds verbesserte Thermosäule ist so konstruiert, daß auch bei starken Temperaturdifferenzen, für welche man bisher sehr lange und dicke Stäbe anwenden mußte, kurze schwache Stäbe zu benutzen sind, indem eine Zwischenwand von einem schlechten Wärmeleiter, wie Asbest, Glimmer, Terracotta u. s. w., zwischen die beiden Enden der thermoelektrischen Stäbe eingeschaltet ist, ohne daß dadurch der metallische Zusammenhang derselben unterbrochen wird und eine genügende Metallfläche zur Verbindung der beiden Stabenden vorhanden ist. Durch diese Scheidewand wird der Übergang der Wärme vom heißen nach dem kalten Stabende bedeutend verhindert und so die ausdauernde Erhaltung der starken Temperaturdifferenz gesichert.

Fig. 123 zeigt den Grundriß und Querschnitt der nichtleitenden Scheidewand für einen einfachen quadratischen thermoelektrischen Stab; p p sind die Löcher, durch welche der Stab gegossen wird, so daß die Kontinuität des Metalls zwischen beiden Stabenden hergestellt wird. Wenn eine derartige Platte aus den angegebenen nichtleitenden Materialien in die Mitte der Form eingelegt wird, in welcher man den Stab gießt, so wird der Stab in der Mitte nur durch kleine Metallcylinder verbunden, sein übriger Querschnitt aber durch die nichtleitende Platte gebildet, so daß der Wärme der Durchgang von dem einen Stabende zum andern bedeutend erschwert wird.

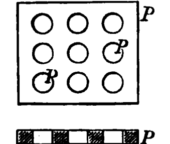


Fig. 123.

Fig. 124 a—c S. 158 illustriert eine andere Art der Herstellung der Elemente für kleine Thermosäulen. Diese Figur ist der Querschnitt einer Gruppe von Elementen; q q ist eine durchlochte Platte od-

ein flacher Cylinder aus Gips, gebranntem Thon oder einem andern für Wärme und Elektrizität nicht leitenden Material; p p sind Löcher, in welche die thermoelektrische Legierung (etwa 2 Teile Zink und 1 Teil Antimon) gegossen wird; r r sind Neusilberdrähte, von denen je ein Ende mit der Legierung unterhalb an dem einen Pol ein-

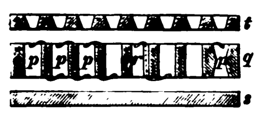


Fig. 124 a.

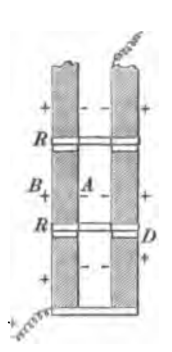


Fig. 124 b.

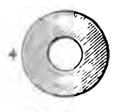


Fig. 124 c.

gegossen ist, während der Draht durch das Loch der Scheidewand hindurch nach dem obern nächsten Pole geht; der Draht kann mit Asbest umhüllt oder auch direkt in die Legierung im Loche eingegossen werden. Die Löcher in der Scheidewand können auch doppelt konisch gemacht werden, um die Legierung besser zu halten. Die Platte s besteht aus gebranntem Thon und bildet den Boden der Form beim Gießen, während die Platte t, welche mit den Eingußlöchern versehen ist, oben aufgelegt wird. Das Diaphragma q kann nebst den zugehörigen Platten s und t auch eine kreissegmentförmige Gestalt haben, so daß man cylindrische Säulen aus den Segmenten zusammensetzen kann, welche von innen mittels einer Spiritus- oder Gasflamme erhitzt werden. Hiermit ist eine zweite Verbesserung der Thermosäulen gegeben, welche sich auf deren Aufbau bezieht. Die im allgemeinen für Thermosäulen gewählte Form ist die eines weiten, aufrechtstehenden Rohres, wobei die zu heizenden Lötstellen um die innere Wand herum und die abzukühlenden Lötstellen außen herum liegen. Eine solche röhrenförmige Säule kann aus cylindrischen Elementen aufgebaut werden, die in Reihen verbunden sind, welche Anordnung Fig. 123 und 124 a, b, c zeigen. Jedes cylindrische Element A B ist vom darunter und darüber befindlichen nächsten Elemente durch eine nichtleitende Scheibe R von Asbest, Glimmer

u. s. w. getrennt; die negativen Pole liegen innerhalb, die positiven außerhalb des Rohres, während die beiden Endpole der Elektroden der ganzen Batterie durch eine unten und eine oben befindliche Drahtspirale dargestellt sind. Fig. 125 und 126 illustrieren die Anordnungsweise größerer Säulen im Vertical- und Horizontalquerschnitt; A und B bilden die inneren und äußeren Umhüllungen für die Polröhren C D, welche die Verbindungen mit der thermoelektrischen Legierung herstellen. Um einen guten Kontakt zwischen der Legierung und den Polröhren zu erhalten, sind die letzteren von durchlöchertem Metall oder Metallgewebe hergestellt, so daß die geschmolzene Legierung hindurchdringen kann; D ist der äußere Pol oder Kaltpol und C der innere oder Heißpol, während E eine

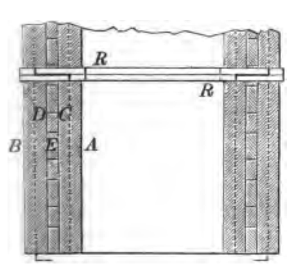



Fig. 125.

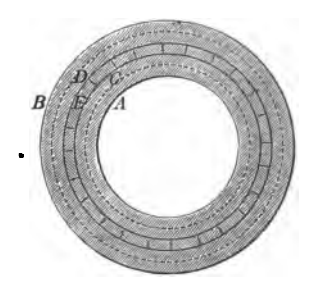


Fig. 126.

nichtleitende Zwischenwand ist, zu deren beiden Seiten sich die thermoelektrische Legierung befindet. Jedes einzelne Element hat daher die Form eines flachen Cylinders, der mit den inneren und äußeren Polcylindern CD, sowie mit deren Umhüllungscylindern AB und der cylindrischen nichtleitenden Zwischenwand E kombiniert ist, und das Ganze ist durch die thermoelektrische Legierung zu einem soliden Ring vereinigt. Aus diesen einzelnen Cylinderelementen wird die Säule alsdann ähnlich, wie in Fig. 125 und 126 dargestellt ist, zusammengebaut. Wenn man das Innere einer solchen Elementesäule erhitzt und deren Außenseite abkühlt, so bildet das innere Rohr C den negativen, das äußere Rohr D den positiven Pol. Um eine solche Säule auf Intensitätsströme zu benutzen, ist es daher notwendig, den innern Polcylinder C des einen Ringelementes mit dem äußern Polcylinder D des nächsten Ringelementes zu verbinden.

Um die einzelnen Elemente der Säule von einander zu isolieren, sind ringförmige Scheiben von Asbest oder Glimmer dazwischengelegt. Die zum Erzeugen der thermoelektrischen Ströme nötige Wärme kann von irgend einer Quelle her benutzt werden und läßt sich dazu auch die abziehende Wärme aus Öfen anwenden. Für Gasheizung wird der Apparat wie in Fig. 127 angeordnet: innerhalb befindet sich ein Heizrohr und außerhalb ein Kaltwasserbehälter. Zum Heizen der Innenwand der Thermosäulen läßt sich auch Dampf verwenden, der entweder direkt aus einem Dampfkessel entnommen wird, wie Fig. 128 illustriert, oder wozu man auch den abgehenden Dampf einer Dampfmaschine benutzen kann, der dadurch teilweis kondensiert wird, wie Fig. 129 zeigt.

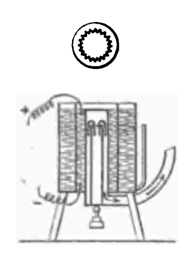


Fig. 127.

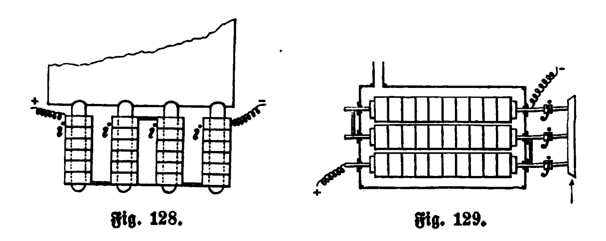


Fig. 128. Fig. 129.

Die neueste Thermobatterie Clamonds besteht aus drei Hauptteilen: 1) dem Kollektor, d. i. dem aus gußeisernen Feuerzügen aufgebauten Ofen; 2) den um den Ofen herum angelegten Thermoelementen und 3) der Kühlvorrichtung. Mit derartigen Säulen ist schon elektrisches Licht erzeugt worden. Die bezügliche Batterie besaß etwa 30 qm Heizfläche; die elektromotorische Kraft betrug 109 Volt und der Widerstand 15.5 Ohm. Der Koksverbrauch betrug stündlich 9 k Koks und konnten damit zwei elektrische Lampen von je 30 bis 50 Carcels im Betrieb erhalten werden.

Neunzehntes Kapitel.

Die magnet- und dynamoelektrischen Maschinen.

107. Nach welchem Prinzip erfolgt die Wirkung der magnetelektrischen Maschinen?

Die Wirkungsweise der magnetelektrischen Maschinen beruht auf dem Prinzip der Magnet-Induktion (vergl. S. 73) und zwar wird die Magnet-Induktion in diesen Maschinen dadurch erregt, daß entweder die Pole eines permanenten Magnets vor einer mit isoliertem Kupferdraht spiralförmig umwundenen Armatur oder eine solche Armatur vor den Polen eines permanenten Magnets in rasche Rotation versetzt wird. Die hierbei in abwechselnder Richtung in der Armatur erzeugten Induktionsströme können durch einen Kommutator in gleiche Richtung gebracht werden (vergl. S. 164).

108. Wie unterscheiden sich die gebräuchlichen magnetelektrischen Maschinen hinsichtlich der Anordnung ihrer Armatur von einander?

Die Armaturen der ersten und einfachsten magnetelektrischen Maschinen, wie solche von Pixii, Clarke, Saxton, Stöhrer und anderen gebaut wurden, bestehen aus zweischenkeliger Eisenkernen, auf denen die Induktionsrollen aufgesteckt sind und welche auf der rotierenden Welle sitzen, während die Magnete fest liegen. Diese Anordnung ist in Fig. 130 illustriert; jedoch war bei der ältesten Konstruktion die Armatur rechtwinklig gegen die Magnetpole gestellt. Bei beiden Anordnungen wird das Magnetfeld nur sehr unvollkommen ausgenutzt. Ein wesentlicher Fortschritt wurde in dieser Beziehung durch die von W. Siemens konstruierte Cylinderarmatur erzielt. Diese Armatur besteht aus einem langen Cylinder von weichem Eisen, der in der Längsrichtung mit zwei diametralen durchgehenden Nuten versehen ist und der zwischen den entsprechend ausgehöhlten Polen einer Reihe Magnete rotiert, wie Fig. 131 S. 162 im Querschnitt illustriert;



Fig. 130.

a ist die im Querschnitt sichtbare Armatur und N S sind die ausgehöhlten Magnetpole. Eine schon früher (1860) von Prof. Pacinotti in Florenz erfundene, aber erst später von Gramme in Paris in ausgedehnte Anwendung gebrachte und nach diesem benannte Armatur ist in Fig. 132 dargestellt. Diese Armatur ist ringförmig und wird als Gramme-Ring oder richtiger als Pacinotti-Ring bezeichnet. Der aus weichem Eisen bestehende, mit den Induktionsspiralen umwundene Ring a rotiert zwischen den wie bei der Siemensschen Cylinderarmatur entsprechend ausgehöhlten Magnetpolen N S. Diese ringförmige Armatur besitzt die Eigentümlichkeit, daß in ihren Spiralen Ströme von gleicher Richtung erzeugt werden, während die hufeisenförmige und die cylindrische Armatur (Fig. 130 und 131) Ströme von ungleicher Richtung oder sogenannte Wechselströme entstehen lassen. Hiernach kann man die Magnetelektromotoren in zwei große Klassen, nämlich in Gleichstrom- und Wechselstrommaschinen, einteilen. Selbstverständlich lassen die Wechselströme sich mittels eines Kommutators in gleichgerichtete Ströme verwandeln.



Fig. 131. Fig. 132.

109. Wie ist die Konstruktion der ältesten magnetelektrischen Maschinen?

Die älteste dieser Maschinen ist die 1832 von Pixii konstruierte, bei welcher die Armatur am Gestell befestigt war und der darunter stehende Magnet rotierte. Diese Maschine wurde von Saxton und Clarke durch Herstellung der Magnete aus einzelnen dünnen Stahllamellen und durch Festlagerung der Magnete, sowie durch eine über oder vor den Polen rotierende Armatur und Anbringung eines Kommutators zum Gleichrichten der Ströme verbessert.

Fig. 133 stellt die Hauptteile einer Clarkeschen Maschine dar, welche lange Zeit hindurch für medizinische und andere Zwecke benutzt wurde. Die Armatur G ist auf einer verticalen Welle

befestigt und über dem Magnet so angebracht, daß seine Eisenkerne sich den Magnetpolen sehr nahe befinden, jedoch dieselben noch nicht berühren. Ein Ende der Drahtrollen steht in elektrischer Verbindung mit der Welle, das andere ist mit einer isoliert auf der Welle sitzenden Metallhülse verbunden. Die abwechselnd auftretenden Induktionsströme werden durch zwei Federn H und H′ aufgenommen, von denen die eine gegen die isolierte Hülse, die andere gegen die Welle drückt. Wenn der Strom in einer Richtung abfließen soll, so ist die isolierte Hülse der Länge nach geschlitzt, so daß sie zwei gesonderte halbcylindrische Hälften bildet, von denen jede mit

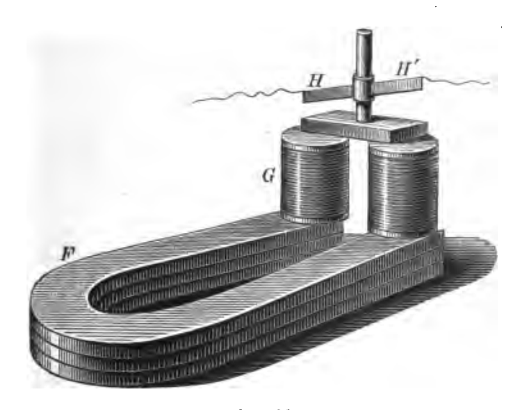


Fig. 133.

einem der beiden Drahtenden der Induktionsrollen verbunden ist. Die Federn (Kollektoren) drücken auf die diametral gegenüber liegenden Seiten der Hülse, welche in diesem Falle den erwähnten Kommutator bildet, der die momentanen Wechselströme der Armatur in gleicher Richtung auf die beiden, mit je einer der beiden Schraubenklemmen der Maschine in Verbindung stehenden Federn übergehen läßt.

Weitere Verbesserungen der magnetelektrischen Maschinen wurden von Stöhrer in Leipzig ausgeführt und zwar besonders mit Bezug auf die Kombination mehrerer (drei bis sechs) kräftiger, aus dünnen Lamellen zusammengesetzter Stahlmagnete mit einer Clarkeschen Armatur entsprechender Spulenzahl, um stärkere Ströme als

bisher zu erzeugen. Fig. 134 illustriert einen für kleine einmagnetische Maschinen von Stöhrer konstruierten Kommutator; derselbe besteht aus zwei von einander isolierten Metallhülsen mit vier aufgelöteten halben Stahlringen a, a′ und b, b′. Die Hülse mit den Ringen a, a′ ist in der Mitte querdurch halbiert, um sie beiderseits in die obere Hülse mit den Ringen b, b′ einschieben zu können. Die beiden Hälften der untern Hülse sitzen direkt auf dem Induktor, und sind also mit derselben leitend verbunden. Die obere Hülse ist aber durch eine isolierende Zwischenhülse von der untern Doppelhülse getrennt. Jede der Hülsen a a′ und b b′ ist mit einem Ende des Armaturdrahtes verbunden. Auf den beiden Halbringen a b, sowie auf den beiden Halbringen der untern Doppel-

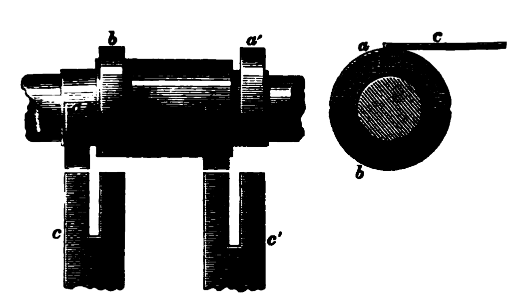


Fig. 134.

hülse a′ b′ schleift eine gegabelte Stahlfeder c, bez. c′; diese beiden Federn sind von einander isoliert und mit einer der Schraubenklemmen der Maschine verbunden, von wo der Strom ausgeht. Die neben einander befindlichen Halbringe greifen etwas über einander, damit der Kontakt der Federn keine Unterbrechung erleidet. Auch mit diesem Kommutator werden die Wechselströme der Armatur als gleichgerichtete Ströme abgeführt.

Zu derselben Maschinenklasse gehört die von Nollet für die Gesellschaft L'Alliance konstruierte magnetelektrische Großmaschine (Fig. 135).

Diese sogenannte Alliancemaschine besteht aus einer Anzahl (gewöhnlich sechs) hinter einander auf einer drehbaren Welle befestigten Messingscheiben, von denen jede nahe am Umfange mit sechzehn in gleichen Abständen rechtwinklig ansitzenden Induktionsspulen besetzt

ist. Die Welle wird mittels eines Riemens durch Dampfkraft betrieben und rotiert zwischen acht radialen Reihen paralleler Magnete A, die sowohl hinter als auch neben einander mit ihren Polen stets abwechseln. Die durch diese abwechselnden Magnetpole in den rotierenden, mit einem kontinuierlichen Drahte umwundenen Spulen induzierten elektrischen Ströme ändern ihre Richtung, sobald

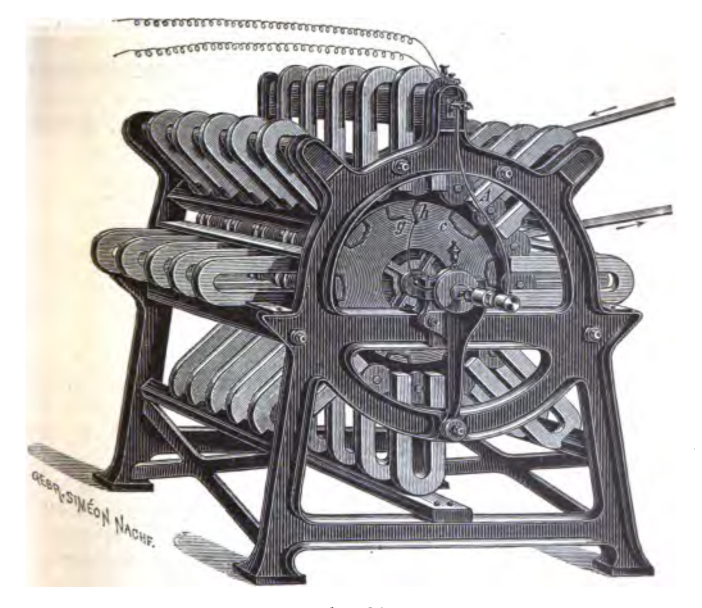


Fig. 135.

die Drahtspulen von einem Pole zum (entgegengesetzten) andern kommen; daher finden bei jeder Umdrehung der Welle in jeder Spule sechzehn Stromwechsel und bei den üblichen 400 Touren der Welle 6400 Stromwechsel in der Minute statt. Bei dem Übergang von einer Spule zur andern ist der Draht auf einer von der Welle isolierten Scheibe befestigt, wie bei c ersichtlich. Von den letzten beiden Drahtenden ist das eine (bei g) mit der Welle, das andere aber (bei h) mit einem isoliert auf der Welle sitzenden

Metallringe verbunden. Soll die Maschine, anstatt Intensitäts-, Quantitätsströme haben, so werden die beiden Drahtenden jeder Spulenreihe einerseits mit der Welle, andrerseits mit dem isolierten Kollektorringe verbunden und so die Spulenreihen parallel geschaltet.

Zwei Federn, von denen die eine auf der Welle, die andere auf dem isolierten Ringe schleift, führen die Ströme nach außen. Mit einer Betriebskraft von etwa fünf Pferdestärken liefert die Maschine eine Lichtstärke von etwa 150 Carcels oder 1100 Normalkerzen.

110. Wie ist die Einrichtung der magnetelektrischen Maschinen mit der Siemensschen Cylinderarmatur?

Fig. 136 zeigt die Siemenssche Cylinderarmatur in der Seitenansicht und Fig. 137 im Querschnitt mit dem ihn umgebenden

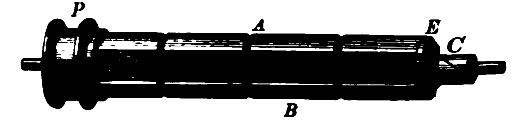


Fig. 136.

Maschinengestell. Wie ersichtlich ist der cylindrische, aus weichem Eisen bestehende Kern AB diametral mit zwei tiefen Rinnen versehen, in welche über die Enden des Eisenkernes hinweg der übersponnene Kupferdraht gewunden ist und durch ringförmige Bänder gehalten wird. An beiden Enden ist eine Messingscheibe befestigt, von denen die mit E bezeichnete den Kommutator C trägt, während die andere mit der Betriebsriemenrolle P verbunden ist. Fig. 137 und 138 illustrieren die Einrichtung einer kleinen, mit dieser Cylinderarmatur versehenen elektromagnetischen Maschine für Handbetrieb im Querschnitt und in perspektivischer Ansicht. AA ist der aus mehreren Stahllamellen zusammengesetzte Hufeisenmagnet, der mit den beiden gußeisernen, das Gestell bildenden, den Induktor eng umschließenden Polschuhen CC verbunden ist; diese Polschuhe sind

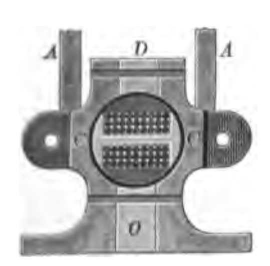


Fig. 137.

isoliert auf der Grundplatte befestigt und durch eine messingene Zwischenwand D O ebenfalls von einander magnetisch isoliert. Die bei der Rotation der Armatur infolge der magnetischen Wirkung hervorgerufenen wechselnden Induktionsströme werden entweder wie bei der Alliancemaschine als Wechselströme, oder durch einen Kommutator als gleichgerichtete Ströme mittels zweier Kontaktfedern nach den Polklemmen und von da weiter in den äußern Stromkreis übergeführt.



Fig. 138.

Eine stärkere Maschine dieser Gattung, aber von etwas andrer Konstruktion, ist in Fig. 139 und 140 S. 168 dargestellt, während Fig. 141 ein Detail derselben zeigt.

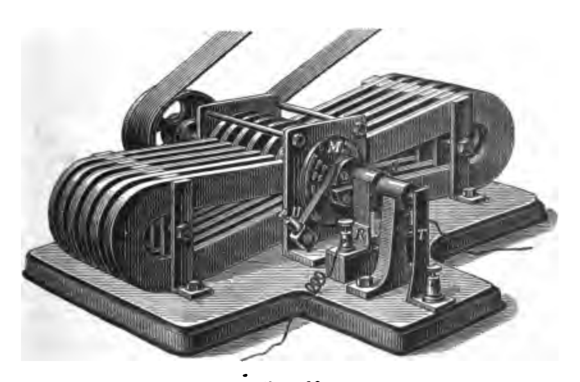


Fig. 139.

Beiderseits der Armatur I (Fig. 140) sind sechs von einander getrennte, aus je einer Stahllamelle bestehende Hufeisenmagnete K liegend angeordnet; die gleichnamigen Pole h h sind durch gekrümmte Lamellen J aus weichem Eisen verbunden. Die Verbindung der Magnete mit ihren Polschuhen und deren Befestigung an der Grund-

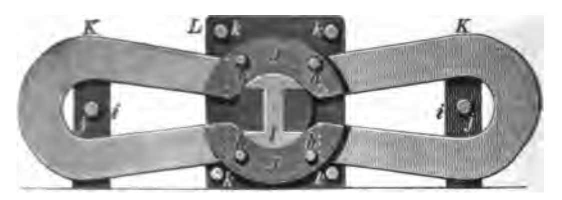


Fig. 140.

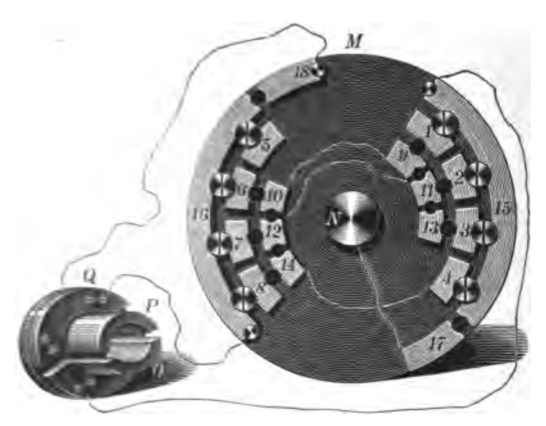


Fig. 141.

platte der Maschine ist durch zwei an der Hinter- und Vorderseite angebrachte winkelförmige Messingplatten bewirkt, welche durch vier Bolzen k zusammengehalten werden. Ferner sind die Magnete auch noch mittels der Ständer j mit der Grundplatte verbunden, werden dabei aber durch messingene Zwischenstücke i auseinandergehalten.

In der Mitte zwischen den Magneten befindet sich die Cylinderarmatur, die mit vier nebeneinanderliegenden übersponnenen Kupfer-

drähten umwunden ist; die Enden dieser Drähte sind mit acht isolierten Messingklötzchen am Umschalter M, dessen Detail Fig. 141 zeigt, verbunden. Die Zahlen 1 und 5 bezeichnen die Enden des ersten Drahtes, 2 und 6 die Enden des zweiten, 3 und 7 die des dritten, 4 und 8 die des vierten Drahtes; 15 und 16 sind gekrümmte Metallstücke, welche mit den numerierten Metallklötzchen in verschiedene Verbindung gebracht werden können. An den Enden dieser Metallstücke befinden sich die Metallklötzchen 17 und 18. Das Klötzchen 17 ist durch einen Draht mit der metallnen Nabe des Kautschukcylinders, worauf die Umschaltungsvorrichtung sitzt, verbunden, während das Klötzchen 18 durch einen Draht mit dem messingnen Ringe Q des Kommutators in Verbindung steht. Innerhalb der Klötzchen 1 bis 8 befinden sich noch die sechs Metallklötzchen 9 bis 14, die durch Drähte verbunden sind.

An die gegenüberliegenden Seiten des Kommutators drücken die Federn R (Fig. 140), welche in isolierten Trägern befestigt sind und mit Schraubenklemmen in Verbindung stehen, um die Leitungsdrähte zum Abführen des Stromes aufzunehmen. Eine Feder T berührt das Ende der Induktorwelle und ist mit einer Schraubenklemme zur Aufnahme eines Leitungsdrahtes versehen; eine andere Feder O, welche mit der vordern Winkelplatte L isoliert verbunden ist, trägt ebenfalls eine Schraubenklemme zur Aufnahme eines Leitungsdrahtes. Bei der in Fig. 141 abgebildeten Stellung des Umschalters wird ein Quantitätsstrom erhalten, indem die Armaturdrähte parallel geschaltet sind. Um einen Intensitätsstrom zu erhalten, werden die Armaturdrähte nach der Längsrichtung verbunden. Gleichgerichtete Ströme werden von den Federn R, Wechselströme von den Federn T und U (nach der Verbindung von 15 mit 17 und 16 mit 18) abgenommen.

Eine noch leistungsfähigere Anordnung der Cylinderarmatur, welche von Marcel Deprez herrührt, zeigt Fig. 142 und 143 S. 170 im Auf- und Grundriß. Die Armatur ist hier parallel zu den Magnetschenkeln zwischen dieselben eingelagert und dadurch wird der Magnetismus besser ausgenutzt, weil fast die ganze Länge der Magnetschenkel von den Armaturdrähten bestrichen wird. Mit einem vierlamelligen Stahlmagnet von 150 mm Länge, 33 mm Schenkelabstand, 32 mm Armaturdurchmesser und 60 mm Armaturlänge erreichte diese Maschine die Leistung von drei Bunsen-Elementen. Wenn die Armatur in den Stromkreis von fünf auf Quantität

geordneten Bunsen-Elementen eingeschaltet wurde, so leistete die Maschine als Motor etwa 0.1 Pferdestärke.

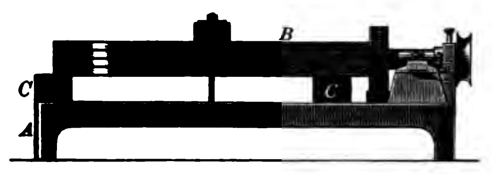


Fig. 142.



Fig. 143.

111. Wie ist die Wirkungsweise und Konstruktion der Ringarmatur?

Die Ringarmatur, welche von Pacinotti und Gramme erfunden worden ist, beruht auf der Thatsache, daß durch die Einwirkung eines Magnets in einem ringförmigen Leiter ein elektrischer Strom erzeugt wird, und zwar ist dieser induzierte Strom bei der

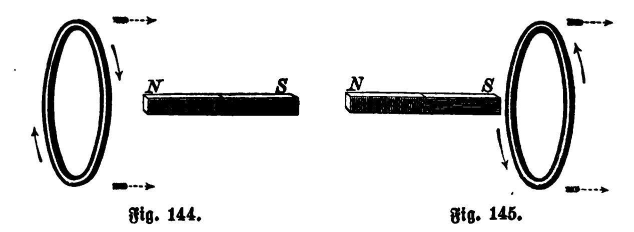


Fig. 144. Fig. 145.

Annäherung des Leiters gegen den Magnet dem Strome entgegengesetzt, welcher die Anziehung des sich nähernden Poles bewirken würde, d. h. der Strom bewegt sich in dem von der Seite des Magnetes betrachteten Leiter entgegengesetzt zur Bewegung eines Uhrzeigers, wie Fig. 144 illustriert. Dieser von unten links nach

ben rechts gehende Strom dauert fort, bis der Leiter die Mitte es Magnets, d. h. dessen neutralen Punkt, erreicht hat, worauf er Strom bei der kontinuierlichen Bewegung des Leiters in der ntgegengesetzten Richtung, d. h. von derselben Seite wie vorher betrachtet in der Richtung des Umlaufs eines Uhrzeigers auftritt, wie Fig. 145 darstellt, wo der Leiter schon bis über den Südpol des Magnets fortgerückt ist. Dieser Strom dauert nunmehr bei der kontinuierlichen Bewegung des Leiters fort, so lange überhaupt noch der fortdauernd wachsende Raum zwischen Leiter und Magnet eine Einwirkung ermöglicht.

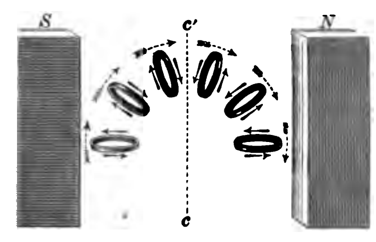


Fig. 146.

Denkt man sich nunmehr den ringförmigen Leiter zwischen zwei kräftigen Magnetpolen S, N (Fig. 146) im Kreise herumgeführt, so wird bei dieser Bewegung des Drahtringes von links nach rechts (in der Uhrzeigerrichtung), vom Südpole auf dem Nordpole hin, die Bewegung des im Drahtringe induzierten Stromes in der links von der Mittellinie c c′ gelegenen Hälfte der Kreisbahn gerade so wie in Fig. 144, dagegen in der rechts von der Mittellinie c c′ gelegnen Hälfte der Kreisbahn so wie in Fig. 145 erfolgen, wie aus der Richtung der Pfeile ersichtlich ist. Nimmt man nunmehr an, daß zwischen den Magnetpolen S N ein Ring aus weichem Eisendraht rotiere, der mit isoliertem Kupferdraht spiralförmig von links nach rechts, wie dies die Ringe in Fig. 146 andeuten, umwunden ist, so wird bei der Rotation dieses Ringes von links nach rechts in der Drahtspirale der elektrische Strom gerade so zirkulieren, wie dies die kleinen Pfeile in Fig. 146 andeuten, so daß man also aus dieser Figur die Wirkungsweise der Pacinotti-Grammeschen Ringarmatur genau erkennen kann, und es ist daraus ersichtlich, daß bei dessen Rotation nicht wie bei der Cylinderarmatur Wechselströme, sondern ein gleichgerichteter Strom erzeugt wird.

Die älteste Maschine, in welcher das Prinzip des ringförmigen Ankers verkörpert ist, scheint der von Elias in Delft 1842 kon-

struierte, in Fig. 147 abgebildete Elektromotor zu sein. Diese Maschine besteht aus einem festen, zwischen den Säulen B angebrachten, mit isoliertem Draht bewickelten Ringe D und einem ebensolchen auf zwei mittels der Stangen a versteiften Säulen gelagerten drehbaren Ringe E, der durch drei Arme F mit der Nabe C verbunden ist, auf deren Welle der sechseckige Kommutator



Fig. 147.

sitzt, an welchem die mit den Klemmen K verbundnen flachen Kupferstangen J anstreifen und so dem Ringe E den Strom zuführen, während der Ring D von einer andern Elektrizitätsquelle gespeist wird. Beide Ringe haben sechs aufeinanderfolgende Pole, welche bei der Drehung des innern Ringes an diesem infolge der Wirkung des Kommutators ihre Zeichen wechseln.

112. Was ist über die ersten Konstruktionen der elektrischen Maschinen mit Ringarmatur zu bemerken?

Die von Pacinotti 1868 konstruierte Ringmaschine war ebenfalls ein mittels galvanischer Batterie betriebener elektromagnetischer Motor, dessen Form Fig. 148 illustriert. Zwischen einem zweischenkeligen starken Elektromagnet (Induktor) A F, B F befindet sich die horizontale, auf einer verticalen, um den Standzapfen M drehbaren

Welle sitzende Ringarmatur; dieselbe besteht aus einem gezahnten Eisenringe, über und unter dessen Zähnen keilförmige Holzklötzchen m sitzen; in die Zwischenräume ist der übersponnene Kupferdraht r in durchaus gleicher Richtung gewunden und der Draht jeder so gebildeten Spule ist mit dem der nächsten so verbunden, daß eine kontinuierliche Drahtspirale um den ganzen Ring herum entsteht. An jeder Verbindungsstelle der benachbarten Spulen ist ein radial nach der Welle geführter Draht angelötet; jeder dieser Drähte ist mit einem Messingstäbchen verbunden, welche von einander und

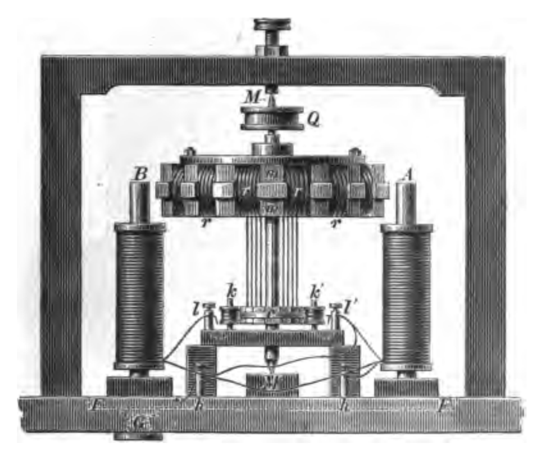


Fig. 148.

von der Welle isoliert, konzentrisch um letztere angeordnet und mit einem unterhalb auf der Welle sitzenden Messingringe verbunden sind, auf welchem letztern die Kontaktrollen k, k′ schleifen, die mit den Schraubenklemmen l l′ verbunden sind. Diese Schraubenklemmen stehen wiederum mit den auf der Grundplatte befindlichen Schraubenklemmen h h′ in Verbindung, und werden in die letzteren die Drähte der galvanischen Batterie eingespannt, so geht der elektrische Strom sowohl in die Drahtwindungen der beiden Magnetschenkel A F, B F als auch in die Drahtwindungen der Ringarmatur und die letztere soll dadurch in Umdrehung versetzt werden. Bei G ist der Elektromagnet durch eine Schraube mit

der Grundplatte verbunden. Eine Drehung des Ringes kann übrigens nur dann stattfinden, wenn die Pole der Ringarmatur rechtwinkelig zu den Magnetpolen liegen, demzufolge dürften aber die Kontaktrollen k, k′ nicht in der Ebene der Magnetschenkel liegen, wie dies die Abbildung angiebt, sondern sie müßten rechtwinklig zu jener Ebene angebracht sein.

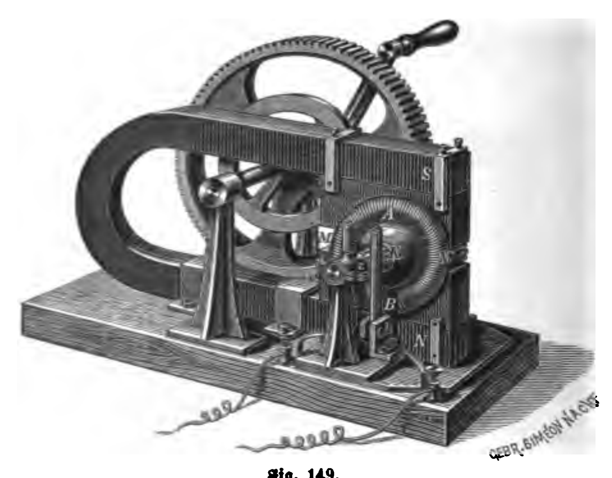


Fig. 149.

Fig. 149 zeigt die Anordnung einer magnetelektrischen Grammeschen Ringmaschine für Handbetrieb. Zwischen den mit ausgehöhlten Schuhen armierten Magnetpolen S N rotiert die Ringarmatur, die bei A und B ihre Pole und bei M M ihre neutralen Punkte hat.

107. Welche Konstruktionen von magnetelektrischen Maschinen sind noch erwähnenswert?

Vor allen ist hier die Maschine von Worms de Romilly zu erwähnen, welche 1866 in Frankreich patentiert wurde; dieselbe gehört zu den ältesten Maschinen dieser Art und ist deshalb äußerst merkwürdig, weil in der Patentbeschreibung des Erfinders vieles angedeutet ist, was von später auftretenden Erfindern ausgeführt wurde.

Das Patent Romillys bezieht sich auf drei Klassen von Armaturen, welche darin ausführlich beschrieben sind, nämlich auf die

kingarmatur, die Cylinder- oder Trommelarmatur und die Flach-
ing- oder Scheibenarmatur. Diese Induktoren entsprechen ganz
en später von anderen erfundenen und mit denselben Benennungen
ezeichneten Armaturen. Ferner sind die Feldmagnete, welche hier
us permanenten Stahlmagneten bestehen, inner- und außerhalb
er Armatur im Kreise herum angeordnet, sodaß also der äußere
md innere Umfang der Armatur ausgenutzt wird. In der Patent-
beschreibung giebt de Romilly die folgenden interessanten Aufschlüsse
über die Wirkungsweise seiner Maschine:

Wenn eine Kupferscheibe veranlaßt wird, zwischen den Polen eines Magnets, senkrecht zur Verbindungslinie der Pole, zu rotieren, so werden in dieser Scheibe senkrecht zur Bewegungsrichtung (d. i. radial) Induktionsströme desselben Zeichens wie die Magnetpole (Nordpol + und Südpol —) erregt. Es ist dies die zuerst von Barlow entdeckte Erscheinung, deren Erklärung durch Faraday in dem Prinzip der Magnetelektrizität gefunden wurde. Die so erregten elektrischen Ströme lassen sich sammeln und ausnutzen, jedoch ist die durch eine solche vor den Polen eines Magnets rotierende Kupferscheibe erregte elektrische Strömung nur sehr schwach. Die Ursache hiervon liegt in der Kontinuität der Scheibe, wodurch der elektrische Strom sich nach allen Seiten hin rasch verteilt, sodaß nur ein kleiner Bruchteil davon gewonnen werden kann.

Um diesen Übelstand zu vermeiden hat man anstatt der massiven Scheibe eine Reihenfolge isolierter Kupferdrähte anzubringen, von denen jedes Ende mit einem festen Konduktor verbunden ist, der successive im Moment des Vorüberganges jedes Drahtes vor dem Magnetpole in Kontakt mit demselben kommt. Der Strom wird somit successive bei dem Vorbeigange jedes Drahtes vor dem Magnetpole erzeugt werden, ohne daß ein Teil davon verloren geht, wie dies bei Anwendung der kontinuierlichen Scheibe in hohem Grade der Fall ist.

Dieser Strom, der bei dem Vorübergange des Drahtes vor einem einzigen Pole sehr schwach ist, wird bedeutend verstärkt werden, wenn der Draht zwischen zwei gegenüberliegenden gleichnamigen Polen hindurchgeht. Anstatt der Scheibe kann man auch einen hohlen mit isoliertem Drahte der Axialrichtung nach bewickelten und durch isolierte Arme mit der Welle verbundenen Cylinder benutzen, wobei der aus weichem Eisen bestehende Cylinder den Kern des Ankers oder der Armatur bildet.

Dieser weiche Eisenkern wird in dem Teile, der zwischen den gleichnamigen Magnetpolen hindurchgeht, die entgegengesetzte Polarität der Pole annehmen. Hieraus resultiert, daß, so lange der mit Draht bewickelte Cylinderumfang zwischen den beiden gleichnamigen Polen sich bewegt, ähnliche Ströme in den isolierten Drahtwindungen entstehen; sobald aber dieser Teil des Cylinderumfanges zwischen die entgegengesetzten, aber unter sich gleichfalls gleichnamigen Magnetpole kommt, ändert der Strom seine Richtung und somit sein Zeichen. Daher wird während der einen Hälfte der Umdrehung der so konstruierten Cylinderarmatur ein Strom von dem einen Zeichen (zwischen den Nordpolen plus) und während der andern Hälfte der Umdrehung ein Strom von der entgegengesetzten Richtung und also auch dem entgegengesetzten Zeichen (zwischen den Südpolen minus) entstehen; diese beiden wechselnden entgegengesetzten Ströme werden sich aber zu einem kontinuierlichen Strome von gleicher Richtung vereinigen.

Rotiert nun aber der Cylinder zwischen einer Umhüllung von Magnetstäben, so müssen dieselben zwei Systeme bilden, von denen jedes nahezu eine Hälfte des Cylinderumfanges umgeben kann und jedes mit den gleichnamigen Polen nebeneinander angeordnet ist, während die Pole der beiden Systeme einander entgegengesetzt sind. So sind z. B. die Magnetstäbe, welche die rechte Hälfte des mit seiner Axe horizontalen Cylinders umgeben, mit den Nordpolen P_N nach vorn und mit den Südpolen P_S nach hinten gerichtet, während die Magnetstäbe, welche nahezu die linke Hälfte des Cylinders umgeben, die Nordpole vorn und die Südpole hinten haben.

Wäre in diesem Falle der Cylinder, dessen Umfang die ganze Länge der Magnete bestreicht, in seiner ganzen Länge in gleicher Richtung mit Draht bewickelt, so würden durch die Einwirkung der in der Axialrichtung befindlichen ungleichnamigen Pole entgegengesetzt gerichtete Ströme entstehen, welche sich einander aufheben, so daß überhaupt kein Strom bemerkbar werden würde. Um dies zu vermeiden und um den Effekt der beiden Pole auszunutzen, hat man den Cylinder in der Längsrichtung zu teilen, so daß zwei bis ziemlich zu der Mitte (dem neutralen Punkte) der Magnetstäbe reichende Ringe vorhanden, die in entgegengesetzten Richtungen bewickelt sind, wodurch bewirkt wird, daß beide Ringe gleichzeitig einen Strom von demselben Zeichen, also auch einen Strom von derselben Richtung ergeben, sodaß diese Ströme sich zu einem kontinuierlichen Strome vereinigen lassen.

Fig. 150 stellt die Romillysche Maschine, Fig. 151 dessen Ringarmatur und Fig. 152 dessen Cylinder- oder Trommelarmatur dar, welche letztere eigentlich eine verbreiterte Ringarmatur und gewissermaßen das Gegenteil von der schmalen, in radialer Richtung mehr

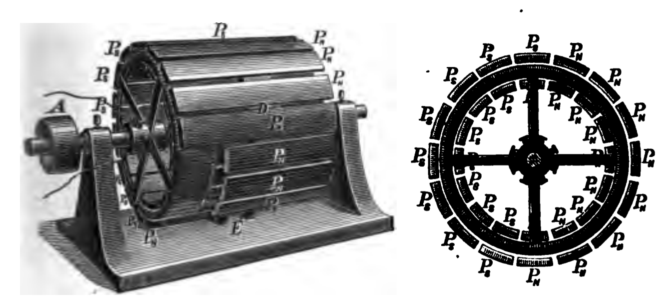


Fig. 150. Fig. 151.

ausgedehnten Flachringarmatur ist. Die Romillysche Ringarmatur entspricht nach Konstruktion und Wirkungsweise dem vorher besprochnen Ringe von Pacinotti und Gramme, die Maschine zeigt aber insofern eine zweckmäßigere Anordnung, als nicht nur außerhalb, sondern auch innerhalb der Ringe bei D und E befestigte Magnete angebracht sind, deren gleichnamige Pole gegenüber stehen und zwar stehen der Ringarmatur auf der einen Hälfte die Nordpole und auf der andern Hälfte die Südpole gegenüber, ähnlich wie in Fig. 149. Wird nun der Ring bei A in Umdrehung versetzt, so wird bei jeder halben Umdrehung ein Strom in entgegengesetzter Richtung, aber in jeder vor demselben Magnetpole vorüberstreichenden Hälfte des Umfanges stets von demselben Zeichen (+ oder —), in den Ringspiralen entstehen, so daß dieser Anker einen gleichgerichteten Strom liefert.



Fig. 152.

Eine neuere, sehr wirksame magnetelektrische Maschine ist die von de Méritens, welche Fig. 153 S. 178 darstellt; dieselbe ist auch mit

einer Ringarmatur versehen, deren Umwickelung aber anderer Art als bei der vorher beschriebenen Ringarmatur ist und zwar so, daß in dieser Maschine Wechselströme entstehen.

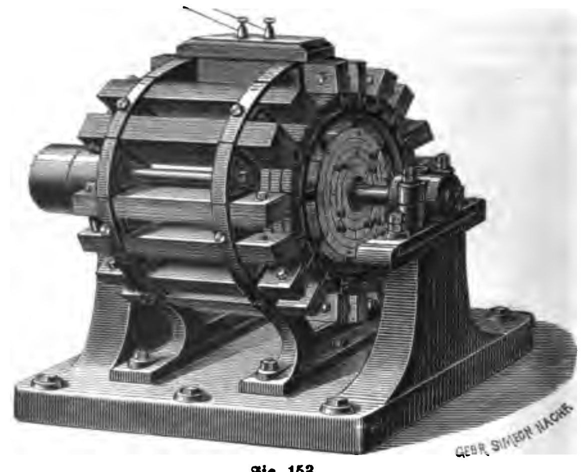


Fig. 153.

Fig. 154 stellt einen Teil dieser Ringarmatur dar, wobei aber anstatt der stabförmigen Magnete, wie in Fig. 153, hufeisenförmige um dieselbe herum angeordnet sind. Beide Arten von Magnetanordnung wendet de Méritens an.



Fig. 154.

Der Ring, der den Kranz eines Rades bildet, ist aus Segmenten zusammengesetzt, von denen jedes eine Armaturspule von elliptischem Querschnitt enthält, deren Kerne aus sehr dünnen Eisenlamellen bestehen, um eine rasche

Magnetisierung und Entmagnetisierung zuzulassen. Diese Herstellung der Ringarmatur ist sehr praktisch.

Die Wirkungsweise dieser Armatur wird durch Fig. 155 illustriert, wobei als einfachste Anordnung nur vier Magnetpole NSNS um den Ring herum angenommen sind und zwar in der Stellung, daß jeder Pol sich gerade in der Mitte eines Sektors A B befindet, so daß die Maximalinduktion stattfindet; jeder Eisenkern der vier Drahtspulen hat den entgegengesetzten Magnetismus des ihm gegenüberstehenden Magnetpoles. Bei der Rotation des Ringes verschiebt sich der Pol jedes Ringsegmentes von dessen einem Ende zum andern und ruft dadurch in der Drahtspule zwei aufeinanderfolgende Ströme entgegengesetzter Richtung hervor. Außerdem wird aber auch noch ein dritter Induktionsstrom infolge der direkten Bewegung der Drahtspule durch das Kraftfeld des gegenüberstehenden Magnetpoles erweckt, welcher um so stärker ist, je näher der Magnetpol der Spule liegt. Auch dieser Strom wechselt seine Richtung, wenn der Magnetpol die Spule verläßt. Da nun die Spulen aller Ringsegmente in gleicher Richtung gewunden sind, so folgt, daß in demselben Moment, in welchem das Segment A B unter dem Nordpole hinstreicht, jedes der beiden daneben befindlichen Segmente vom Südpole influiert wird, so daß in diesen Segmenten, im Vergleich zum Strome in A B, Ströme von entgegengesetzter Richtung entstehen. Diese Ströme würden sich neutralisieren, wenn nicht die Spulen nach der in Fig. 156 illustrierten Anordnung verbunden wären, wodurch bewirkt wird, daß die entgegengesetzten Ströme der einzelnen Spulen sich zu einem Strome summieren,

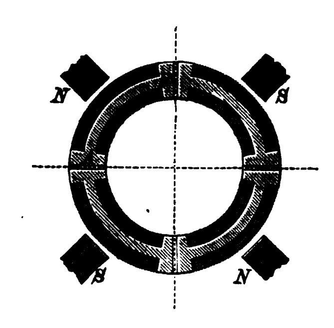


Fig. 155.

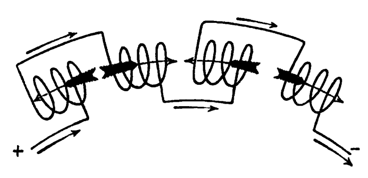


Fig. 156.

wobei aber dieser Ringstrom in sehr kurzen, von der Umdrehungsgeschwindigkeit abhängigen Intervallen seine Richtung wechselt.

114. Auf welche Weise kann man die Kraftwirkung einer magnetelektrischen Maschine bedeutend verstärken?

Dies geschieht dadurch, daß man anstatt der permanenten Stahlmagnete Elektromagnete in denselben anbringt und dieselben mittels einer besondern kleinen magnetelektrischen Hülfsmaschine erregt. Die erste derartige Maschine wurde 1866 von Wilde in Manchester konstruiert; dieselbe bestand aus einer Kombination zweier rotierender Cylinderarmaturen, von denen die eine einem System von Stahlmagneten, die andere aber einem sehr starken Elektromagnete von weichem Eisen angehörte. Die kleine magnetelektrische Maschine steht auf der den Elektromagnet überdeckenden und dessen beide Schenkel vereinigenden Platte und der von ihr ausgehende kontinuierliche Strom wird durch die Spiralen des Elektromagnets geführt.

Obgleich die Wildesche Maschine noch einzelne Anwendungen für große Kraftentwickelungen, besonders für galvanoplastische Zwecke, aber auch zur elektrischen Beleuchtung findet, so wird dieselbe doch jetzt weniger benützt als früher, indem die dynamoelektrischen Maschinen stark bevorzugt werden, zu denen wir nunmehr übergehen.

Zu den magnetelektrischen Maschinen gehören auch die mit Elektromagneten ausgerüsteten Induktionsmaschinen, denen der zur Erregung dieser Magnete nötige Strom von einer Hülfsmaschine zugeführt wird; da indessen diese Maschinen sich stets auch so einrichten lassen, daß sie den zur Erregung ihrer Magnete nötigen Strom sich selbst erzeugen, so sind dieselben mit in dem nächsten Kapitel beschrieben.

Zwanzigstes Kapitel.

Die dynamoelektrischen Maschinen.

115. Worin bestehen die Haupteigentümlichkeiten der dynamoelektrischen Maschinen?

In den dynamoelektrischen Maschinen wird die zur Umdrehung der Induktorwelle verwendete mechanische Arbeitskraft ohne Anwendung permanenter Magnete oder von einer äußern Elektrizitäts-

quelle aus erregter Elektromagnete in elektrische Ströme verwandelt. Der elektrische Strom wird also in einer solchen Maschine durch die Rotation der Armatur selbst erst erzeugt und kann mit wachsendem Kraftaufwande bis auf ein bestimmtes Maß gesteigert werden, nach dessen Erreichung die Maschine einen kontinuierlichen Strom liefert, während anfänglich nur der in den Elektromagnetkernen vorhandene geringe remanente Magnetismus wirksam ist.

Mit der magnetelektrischen hat die dynamoelektrische oder kurz „Dynamomaschine“ das gemein, daß ihre elektromotorische Kraft proportional ist 1) der Intensität des magnetischen Feldes; 2) der Peripheriegeschwindigkeit der Armatur und 3) der Länge des darauf gewundenen Drahtes. Dieselbe Maschine kann auch als elektrischer Motor verwendet werden, in welchem Falle der hineingesendete Strom die Induktionswirkung auf das magnetische Feld ausübt und der Anker in Rotation versetzt wird, entgegengesetzt der Rotationsrichtung, welche einen Strom von derselben Richtung im Anker induzieren würde.

Die Anforderungen, welche an die magnet- und dynamoelektrischen Maschinen gegenwärtig gestellt werden, laufen, namentlich bei solchen, welche für Beleuchtungszwecke dienen, darauf hinaus, die Möglichkeit der Erzeugung mehrerer Lichter in einem Stromkreise, oder auch die Speisung weit von der Maschine entfernter Lichter zu gewähren. Hierzu sind aber Maschinen nötig, welche Ströme von bedeutender Spannung liefern. Bei den elektrischen Maschinen, welche zu umgekehrter Thätigkeit, als Kraftmaschinen, verwendet werden sollen, ist ebenfalls fast stets die Überwindung eines großen Leitungswiderstandes nötig, weshalb man an diese Maschinen dieselbe Anforderung zu stellen hat.

Nun läßt sich zwar die Spannung des Stromes d. i. die elektromotorische Kraft in jeder magnet- oder dynamoelektrischen Maschine steigern, sobald deren Tourenzahl erhöht wird, jedoch wird hier bald eine Grenze der Zulässigkeit erreicht, indem die Maschinen auf die Dauer die sehr hohen Tourenzahlen nicht ohne Beschädigung aushalten und außerdem steht hier auch zuweilen der Umstand im Wege, daß mit der Spannung auch die Stromstärke wächst. Man kann dasselbe Ziel aber auch noch dadurch erreichen, daß man die Anzahl der zur Verwendung kommenden magnetischen Pole des Induktors vermehrt und dieselben in Wechsel neben einander anordnet. Die Magnetisierung des Ankers wird dadurch weniger intensiv, also auch die Stromstärke verhältnismäßig gering, hingegen

wird mit der Zahl der Polwechsel im Eisenkerne des rotierenden Ankers die elektromotorische Kraft verstärkt und man erhält somit bei verhältnismäßig geringer Tourenzahl einen stark gespannten Strom, welcher sowohl eine weitgehende Teilung des Lichtes als auch eine lange Drahtleitung zur Lampe, sowie ferner auch die Transmission von Arbeit auf große Distanzen mit möglichst großem Nutzeffekte gestattet.

116. Wie war die erste Dynamomaschine konstruiert?

Die erste Dynamomaschine für starke Ströme wurde nach der von W. Siemens erfundenen Konstruktion in etwas modifizierter

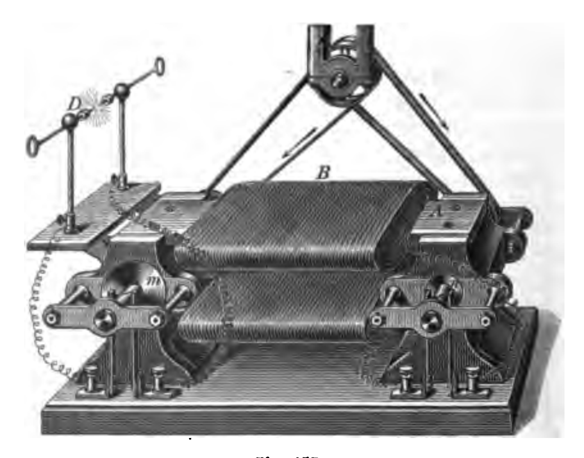


Fig. 157.

Form vom Engländer Ladd 1867 ausgeführt; dieselbe ist mit zwei Siemensschen Cylinderarmaturen versehen. Fig. 157 zeigt diese Laddsche Doppelcylindermaschine; dieselbe ist mit zwei von einander unabhängigen plattenförmigen Elektromagneten B B ausgerüstet. Zwischen vier Ständern sind die halbkreisförmig ausgehöhlten Polschuhe A der Elektromagnete befestigt, aber so, daß der obere vom untern magnetisch isoliert ist. Zwischen diesen Polschuhen rotieren die beiden Cylinderarmaturen m und n. Die Ströme der kleinern Armatur n werden zur Erregung der Elektromagnete benutzt,

während die Strome der größern Armatur m beispielsweise bei D zur Erzeugung von elektrischem Licht Verwendung finden.

117. Wie ist die Grammesche Dynamo-Ringmaschine konstruiert?

Fig. 158 illustriert das Prinzip derselben. Der aus weichem Eisen bestehende, mit einer kontinuierlichen Spirale isolierten Drahtes umwundene Ring rotiere beispielsweise in der Pfeilrichtung zwischen den Polen S N eines Elektromagnets. Jede Windung (beziehentlich Drahtspule) der Ringarmatur ist durch einen radialen Draht mit

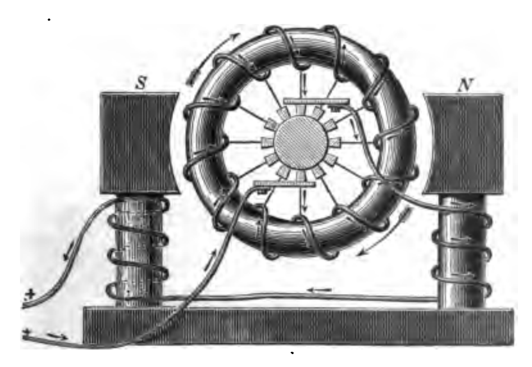


Fig. 158.

einem auf der Welle liegenden isolierten Kupferstäbchen leitend verbunden. Diese konzentrisch um die Welle liegenden Kupferstäbchen bilden den Kollektor, auf welchem diametral in der Richtung der neutralen Mittellinie zwei Kontaktfedern oder sogen. Bürsten streichen, welche den in der Richtung der kleinen Pfeile im Ringdrahte zirkulierenden Strom aufsammeln und je durch einen Draht nach außen leiten. Der Leitungsdraht der einen Bürste bildet die erregende Spirale des Elektromagnets und geht erst dann in den äußern Stromkreis über, so daß der in der Ringarmatur zuerst von dem schwachen remanenten Magnetismus der Magnetpole S N induzierte Strom gleichzeitig den induzierenden Elektromagnet umkreist, wodurch sehr rasch — nach dem dynamoelektrischen Prinzip — die Maschine auf ihre Maximalwirkung gebracht wird (vergl. Frage 109).

118. Wie wurde der Siemenssche Cylinderanker nach dem Prinzip der Grammeschen Ringarmatur in den sogen. Trommelinduktor umgewandelt?

Diese Umwandlung, welche von Hefner-Alteneck herrührt, erfolgte in der durch Fig. 159 bis 161 illustrierten Weise. Fig. 159

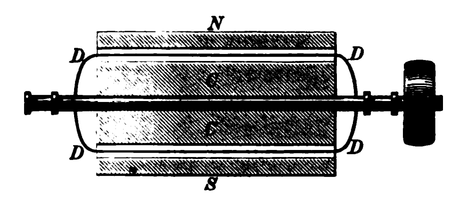


Fig. 159.

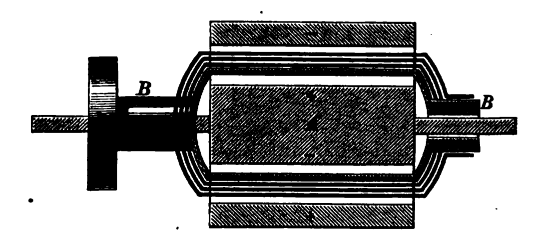


Fig. 160.

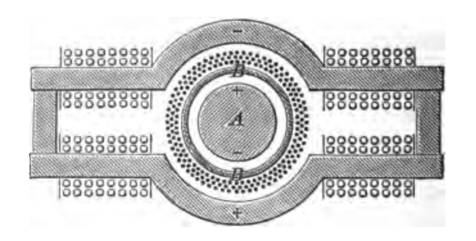


Fig. 161.

zeigt die Armatur für kleinere Maschinen und es besteht dieselbe aus einem mit der Welle verbundenen Eisencylinder C C, der in der Längsrichtung, ähnlich wie die Romillysche Armatur Fig. 152,

mit isoliertem Drahte D umwunden ist. Die so gebildete Armatur wird von den ausgehöhlten Polen N S des Elektromagnets nahezu vollständig umgeben. Fig. 160 und 161 illustrieren die Konstruktion größerer Trommelmaschinen. Hier ist A der cylindrische Eisenkern der Armatur, welche unbeweglich auf einer im Gestell der Maschine festliegenden Axe sitzt. Um den Cylinder A herum ist ein Mantel B von Neusilberblech angebracht, welcher beiderseits mit Lagerbüchsen versehen ist, so daß die Trommel auf der festliegenden Cylinderaxe A mittels einer Riemenrolle in Umdrehung versetzt werden kann. Um die Trommel herum ist der Draht ähnlich wie in Fig. 159 gewunden. Die Wirkungsweise dieser Bewickelung ist folgende: Während die Drähte, welche (in Fig. 160) den obern Trommelumfang umgeben, beispielsweise mehr oder minder der Wirkung des Südpoles (Minuspoles) ausgesetzt sind, befinden sich die Drähte, welche auf der untern Hälfte des Trommelumfanges liegen, unter der Einwirkung des Nordpoles (Pluspoles). In den oberen Drähten wird daher der Strom von links nach rechts und in den unteren Drähten von rechts nach links, also in entgegengesetzter Richtung, sich bewegen. Die beiden entgegengesetzt gerichteten Ströme der diametral liegenden Drähte vereinigen sich jedoch infolge der diametralen Verbindung dieser Drähte zu einem Strome von gleicher Richtung, und dies wird während der Umdrehung der Trommel fortdauernd der Fall sein, indem der eben geschilderte Vorgang sich in keiner Weise verändert, trotzdem daß die Drähte ihre Lage zu den Magnetpolen fortwährend wechseln, indem bald die oberen Drähte nach unten und bald die unteren Drähte nach oben zu liegen kommen.

Fig. 161 illustriert zugleich die Anordnung der Elektromagnete.

119. Welche Klassen von Dynamomaschinen lassen sich unterscheiden und welche Eigentümlichkeiten kommen denselben zu?

Außer den Ringmaschinen und Trommelmaschinen kommen noch andere Konstruktionen vor, die man als Scheibenmaschinen und als Sternmaschinen (mit Bezug auf die Form der Armaturen) bezeichnen könnte. Eine Klassifizierung in dieser Richtung bietet aber Schwierigkeiten und ist kaum streng durchführbar, so daß man besser thut, bei der Einteilung auf die Konstruktion gar keine Rücksicht zu nehmen, sondern nur die Wirkungsweise in Betracht zu ziehen, wonach man, wie schon bei den magnetelektrischen Maschinen erwähnt wurde, zwei Hauptklassen: die Gleichstrom-

maschinen und die Wechselstrommaschinen erhält, obschon auch zwischen diesen beiden Klassen wiederum Übergänge stattfinden. Außerdem ist hierbei zu bemerken, daß man mit den Wechselströmen die Elektromagnete nicht speisen kann, sondern dafür Sorge tragen muß, daß dieselben gleichgerichtete Ströme zugesendet erhalten; geschieht dies durch eine besondere Dynamomaschine, so ist die elektrische Arbeitsmaschine als eine magnetelektrische zu bezeichnen.

Was nun die Vor- und Nachteile der einen oder andern Wirkungsform der Dynamomaschinen anbelangt, so ist darauf hinzuweisen, daß zur Speisung gewisser elektrischer Lichter, insbesondere der sogen. Kerzen, Wechselstrommaschinen nötig sind; manche mit elektromagnetischem Regulierungsmechanismus versehene Lampen scheinen mit Wechselströmen ein gleichmäßigeres Licht zu geben, weil dabei kein remanenter Magnetismus das Spiel des Apparates beeinträchtigt. Was aber die Betriebskraft anbelangt, so brauchen die Wechselstrommaschinen mehr Kraft als die Gleichstrommaschinen; auch ergeben die letzteren eine stärkere Beleuchtung der Bodenfläche, insofern man den positiven, stumpf und mit einer konkaven Fläche abbrennenden Kohlenstab oberhalb anbringen kann und so von oben herab einen größern Lichtkegel erhält, als wenn beide Stäbe mit Wechselströmen spitz abbrennen. Als ein Nachteil der Dynamomaschinen tritt deren große Empfindlichkeit auf, indem bei wachsendem Widerstande im äußern Stromkreise sofort die vom Induktionsstrome gespeisten Magnete sich abschwächen und somit gerade dann, wenn ein stärkerer Strom nötig wäre, die Stromstärke abnimmt, was bei den magnetelektrischen Maschinen, deren Magnetkraft konstant ist, nicht eintritt. In dieser Beziehung bieten die magnetelektrischen Maschinen und die Induktionsmaschinen, deren Elektromagnete durch eine besondere Dynamomaschine erregt werden, einen Vorzug.

120. Welches sind die wichtigsten Gleichstrommaschinen und was ist über deren Konstruktion und Leistung zu bemerken?

Die Gramme-Maschine (vergl. S. 183), deren zumteil im Durchschnitt sichtbare und teilweis mit auseinandergeschobenen Drahtspulen versehene Ringarmatur Fig. 162 darstellt. Der ringförmige Kern A besteht aus geglühten weichen Eisendrähten, um einen möglichst empfindlichen Elektromagnet zu erhalten. Dieser Kern ist in Abteilungen mit isoliertem Kupferdraht umwunden, welcher die Induktionsspulen B bildet. Der Ring sitzt auf einer mit der Welle verbundenen Holzscheibe. Die beiden Enden je zweier benachbarter

nduktionsspulen sind mit einem winkelförmigen Kupferstreifen R, genanntem Konduktor, durch Lötung vereinigt; diese Konduktoren ehen durch die Scheibe hindurch und ihre Enden sind je mit einem solierten Kupferstreifen leitend verbunden; diese letzteren Kupferstreifen umgeben konzentrisch die Welle und bilden den cylindrischen

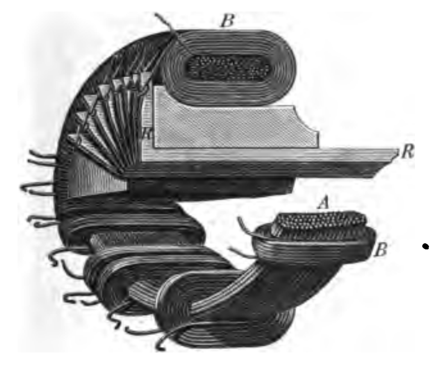


Fig. 162.

Kollektor oder Kommutator, auf welchem die aus galvanisch versilbertem Kupferdraht gebildeten Kontaktbürsten durch Federdruck aufschleifen. Durch diese Kontaktbürsten wird der innere Stromkreis der Maschine mit dem äußern verbunden, sodaß die in den Induktionsspulen erzeugten Induktionsströme zur Verrichtung äußerer Arbeit abgeführt werden.

Fig. 163 S. 188 stellt eine Grammesche dynamoelektrische Maschine einfachster Konstruktion dar, wie solche für industrielle Zwecke, z. B. zur Beleuchtung von Fabrikräumen, Arbeitsplätzen, für galvanoplastische Arbeit u. s. w., benutzt wird. Die Armaturwelle wird mit etwa 900 Touren per Minute in Umdrehung versetzt und das magnetische Feld wird von zwei hufeisenförmigen horizontalen Elektromagneten gebildet; bei der neuesten Form der Grammeschen Lichtmaschine, welche Fig. 164 und 165 in der Seitenansicht und im Querschnitt darstellen, sind die Elektromagnete flach plattenförmig. In allen Fällen sind nahezu halbkreisförmige Polstücke vorhanden, welche die Ringarmatur bis auf einen beiderseits freibleibenden kleinen Zwischenraum umschließen.

[illegible] [illegible] [illegible] in der Abbildung in Millimetern [illegible]. Das Gewicht der Maschine beträgt etwa 360 kg. [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] [illegible] mm im Durchmesser haltenden Scheibe

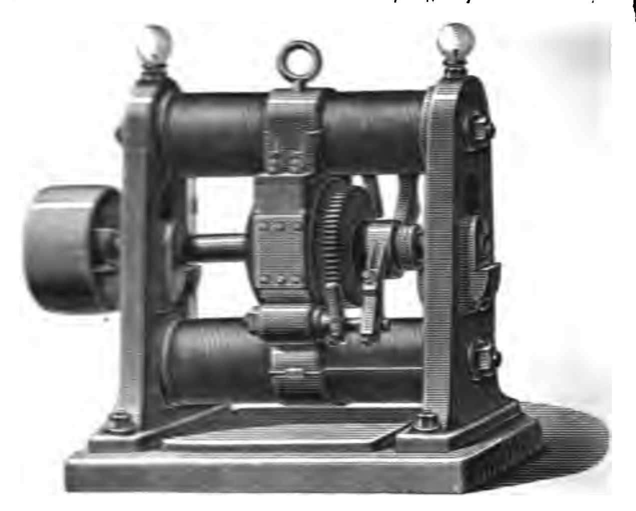


Fig. 163.

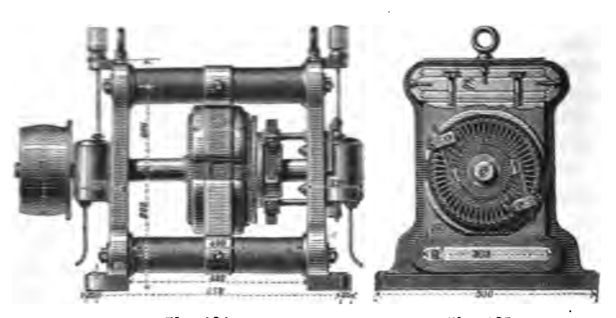


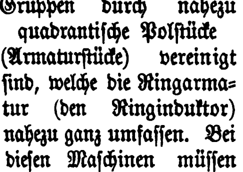
Fig. 164. Fig. 165.

durch einen 100 mm breiten Riemen bis zu 1300 Touren per Minute betrieben. Der Widerstand im Ringe beträgt 1.5 Ohms, der in den

Elektromagneten 3 Ohms. Der Draht auf den Elektromagneten wiegt nahezu 64 kg. Bei dem schnellen Gange der Maschine mußte insbesondere auch für eine ausreichende Schmierung der Lager gesorgt werden. Die folgende Tabelle giebt die Verhältnisse der zur Speisung einer bis zu fünf Lampen zu benutzenden Maschine an:

Lampenzahl	Touren per Minute	Widerstand der Leitung in Ohms	Normal-distanz der Kohlen	Bogenlänge beim Auslöschen
		mm	mm	mm
1	500	1,00	0,25	0,60
2	700	2,00	0,25	0,57
3	975	3,00	0,25	0,55
4	1125	4,10	0,25	0,55
5	1300	5,50	0,25	0,55

In Fig. 166 und 167 ist im Quer- und Längsdurchschnitt eine Form der Gramme-Maschine dargestellt, welche speziell zur Anwendung für elektrische Krafttransmission bestimmt ist und daher eine derartige Einrichtung hat, daß sie sehr kräftige Ströme ohne zu großen Widerstand zu erzeugen vermag. Dieselbe besteht aus einem im Querschnitt achteckigen Gestell, worin vier Elektromagnete in vier Gruppen durch nahezu quadrantische Polstücke (Armaturstücke) vereinigt sind, welche die Ringarmatur (den Ringinduktor) nahezu ganz umfassen. Bei diesen Maschinen müssen genügend starke Drähte sowohl für die Elektromagnete als auch für die Induktionsspiralen, d. i. im innern Stromkreise der Maschine, zur Anwendung kommen, damit die Erwärmung der Maschine nicht zu groß wird.



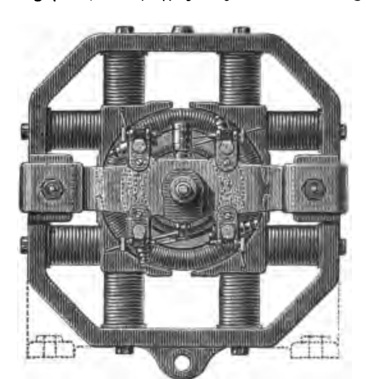


Fig. 166.

Die für galvanoplastische Arbeit und überhaupt Metallausscheidung bestimmten Maschinen haben Quantitätsströme von verhältnismäßig geringer Spannung zu liefern, weshalb für die Induktionsspiralen der rotierenden Armatur, sowie auch für die Elektromagnete sehr dicke Drähte verwendet werden. Zur Umwindung der Elektromagnete werden auch Kupferbleche benutzt, welche in wenigen, etwa vier Windungen den ganzen Umfang der Eisenkerne umgeben.

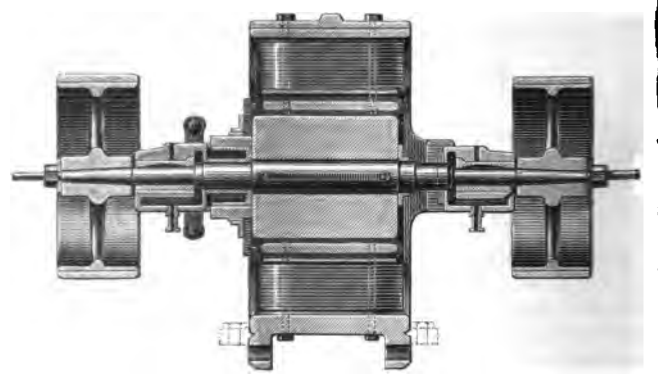


Fig. 167.

121. Welcher Übelstand machte sich bei der Gramme-Maschine geltend und wie hat man denselben zu beseitigen gesucht?

Ein Übelstand der Gramme-Maschine liegt darin, daß die Ringarmatur nur auf ihrer äußern Fläche das magnetische Kraftfeld ausnutzt, indem ihre innere Fläche der Einwirkung der magnetischen Kraftlinien zum größten Teil entzogen ist. Infolgedessen haben die durch die Drahtspiralen der Armatur fließenden Induktionsströme in dem passiven Teile des Drahtes nicht nur einen gewissen Widerstand an und für sich zu überwinden, sondern es stellt sich auch heraus, daß in diesem Teile der Drähte durch den magnetisch induzierten Eisenkern entgegengesetzte Ströme (Foucaultsche Ströme) erregt werden, durch welche jener Widerstand noch bedeutend verstärkt wird. Durch diesen Widerstand wird aber eine beträchtliche Erhitzung des Induktordrahtes und damit ein Effektverlust herbeigeführt.

Diesem Übelstande hat man dadurch abzuhelfen gesucht, daß man der Ringarmatur (ähnlich wie schon Romilly — vergl. S. 174 — dies that) einen schmalen, in radialer Richtung verbreiterten Querschnitt gab und somit die sogenannte Flachringarmatur herstellte, welche von den ebenfalls verbreiterten Polschuhen PP

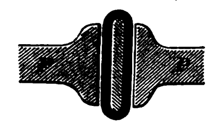


Fig. 168.

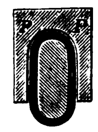


Fig. 169.

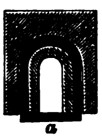


Fig. 170.

der Elektromagnete umgeben wurde, wie Fig. 168 und 169 im Querschnitt der Armatur illustrieren. In noch anderer Weise hat man den Ringanker im Innern rinnenförmig ausgehöhlt und außerhalb mit dem ebenfalls ausgehöhlten Polschuh PP (Fig. 170) umgeben.

Noch ist zu bemerken, daß die Bewickelung der Ringanker schwierig wird, wenn dieselben in radialer Richtung sehr breit sind, weil sich die Zahl der Windungen nach dem innern Ringumfange richten muß, so daß nach außen ein größerer Teil der Ringfläche unbewickelt bleiben wird, wenn man nicht auf besondere Weise diesen Übelstand umgeht. Crompton giebt als ein solches Mittel die staffelförmige Bewickelung der Ringanker an. Fig. 171 zeigt eine Art der Ausführung dieser Bewickelung, wobei eine aus Sektoren zusammengesetzte Scheibe angewendet ist. Jeder der aus Schmiedeeisen bestehenden Sektoren ist an den Seiten treppenartig geformt, wie bei a ersichtlich ist. Die Segmente werden nach der Bewickelung paarweise verbunden.

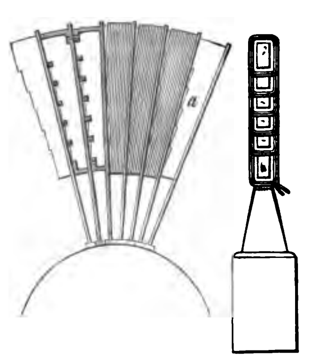


Fig. 171.

Derartig modifizierte Ringgleichstrommaschinen sind:

1) Die Schuckert-Maschine. Die als Flachring geformte Armatur ist von lappenförmigen verbreiterten Polschuhen beiderseits

eingeschlossen, so daß der größte Teil des Ankerdrahtes sich im Magnetfelde befindet und direkt erregt wird. Die bemerkenswerteste Eigentümlichkeit dieser Maschine besteht gerade in dieser Form des Ankers. Der Flachring hat mehrere Vorteile. Der Kern des Ringes ist wie auch bei anderen Maschinen aus von einander isolierten Blechscheiben gebildet, so daß er leicht polarisiert und depolarisiert werden kann. Fig. 172 zeigt eine Lichtmaschine dieser Art und es sind hier die über den Armaturring greifenden bogenförmigen Lappen zumteil sichtbar. Diese Lappen schließen jedoch

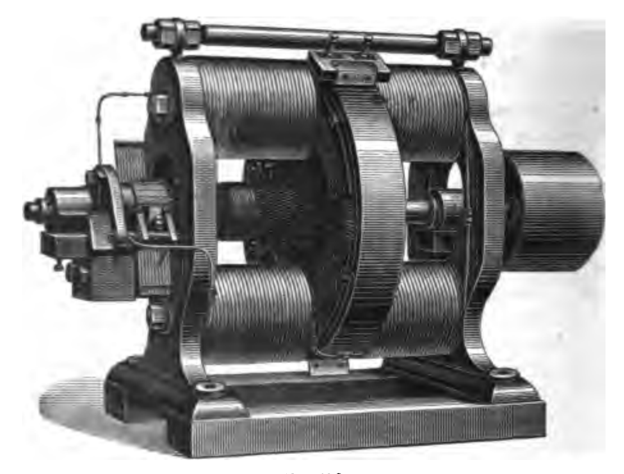


Fig. 172.

nicht die Armatur in solchem Maße ein, wie dies bei anderen Maschinen wohl der Fall ist, vielmehr ist zwischen den entgegengesetzt polarisierten Lappen ein größerer Zwischenraum vorhanden, der keineswegs unnötig ist und zwar aus folgendem Grunde.

Jede magnetische Induktion bedarf einer gewissen Zeit, bis sie den magnetischen Zustand eines Eisenkörpers durch und durch verändert hat. Es ist deshalb bei einem rotierenden Ring durchaus notwendig, daß die Influenzierung auf einen bezüglichen Querschnitt längere Zeit stattfindet. Um dies zu erreichen, muß man jene Lappen anwenden. Wie aber eine gewisse Zeit notwendig ist, um

die Magnetisierung einer Eisenmasse zu bewirken, so ist ebenso auch eine gewisse Zeit zum Entmagnetisieren nötig. Stehen nun die Pollappen zu eng zusammen, so hat das Eisen keine Zeit mehr, seine Polarität zu verlieren, und der nächste Pollappen muß nun zunächst durch seine Influenz das Eisen depolarisieren, um es nachher entgegengesetzt polarisieren zu können. Es wird also durch eine gewisse Entfernung der Pole eher gewonnen als verloren. Das Zustandekommen einer durchaus kräftigen und vollkommenen Polarisation des Eisenringes ist aber von großem Vorteil für die Stromerzeugung. Nur bei vollständiger Magnetisierung ist es möglich, die Bürsten genau in die neutrale Linie einzustellen und dadurch die Funkenbildung zu vermeiden. Ein zweiter Vorteil des Flachringes besteht wohl auch darin, daß die einzelnen Induktionsspulen etwas von einander getrennt sind und sich einzeln leicht auswechseln lassen.

Die folgende Tabelle giebt Aufschluß über die für Teillichter zu benutzende Schuckert-Maschine B:

Modell-Nr.	Für Lichter von etwa 1200 Normalkerzen.	Für Inkandeszenzlichter à 16 Normalkerzen.	Kraftbedarf in Pferdestärken.	Tourenzahl pro Minute.	Gewicht in kg.
TL 1	2	24	2	1000	120
2	3	40	3	900	180
3	4—5	88	4—5	900	260
4	6—8	112	6—7	800	370
5	10—12	136	10—12	800	450

2) Die Fein-Maschine ist ebenfalls mit einem Flachring, aber gewissermaßen in umgekehrter Weise im Vergleich zur Schuckert-Maschine, versehen, wie aus Fig. 173 S. 194 ersichtlich ist. Für diese Anordnung gelten dieselben Gründe, wie bei der vorhergehenden Maschine. R ist der im Querschnitt in die Breite gezogene Ring, während derselbe bei Schuckerts Maschine in die Länge gezogen ist; derselbe ist mittels der Schrauben m an die auf der Welle a aufgekeilte Scheibe S befestigt. Die Umdrehung mit dem Induktorring geht von der Scheibe J mittels Riemens aus. Die Enden der Drähte von jeder Gruppe der den Ring umwindenden Induktions-

spiralen sind isoliert durch Löcher in der Scheibe S geführt und mit dem Kommutator C verbunden. Der Strom wird durch zwei Bürsten B (von denen nur eine sichtbar ist) gesammelt. Die Elektromagnete EE sind mit den Polschuhen M versehen, welche die Außenseite des Ringes bogenförmig umschließen; an den Polschuhen M sind noch die Polstücke A angebolzt, welche die Innenseite des Ringes umhüllen. In der Wirkungsweise dürfte die Fein-Maschine sich mit der Schuckert-Maschine gleichstellen. Fein giebt

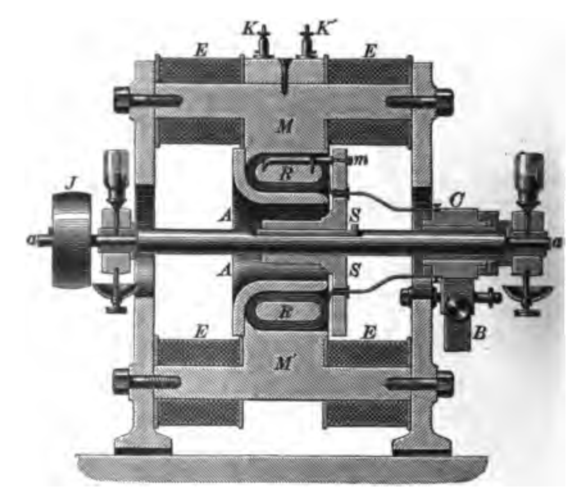


Fig. 173.

an, daß, wenn die inneren Polstücke entfernt werden, so daß dieselbe wie eine gewöhnliche Gramme-Maschine arbeitet, die Stromstärke bis mindestens zur Hälfte schwächer ist, als bei Vorhandensein der inneren Polstücke.

3) Die Heinrichs-Maschine (Fig. 174) ist mit einer sogenannten kanalisierten Ringarmatur versehen. Der Hohlring der Armatur besteht hier aus einem Bündel starker Eisendrähte, welche auf die Metallfassung g gewickelt sind; um den Ring r ist die Armaturspirale w in 36 Abteilungen gewunden, aber so, daß die Drahtwindungen nur auf der äußern Ringfläche aufliegen und bei

dem Übergange über die Ringhöhlung von der innern Ringfläche so weit entfernt sind, daß deren entgegengesetzte Polarität nicht mit störender Induktion auf diese Drähte einwirken kann. Die 36 Abteilungen der Armaturspirale stehen durch eben so viele Kommutatoren c mit einander in leitender Verbindung. Der Ring r ist durch sechs speichenartige Ansätze mit der Nabe a verbunden, welche fest auf der Welle s sitzt. An den Stellen, wo die Speichen sich an den Ring anlegen, bleiben an dem letztern freie Stellen zwischen

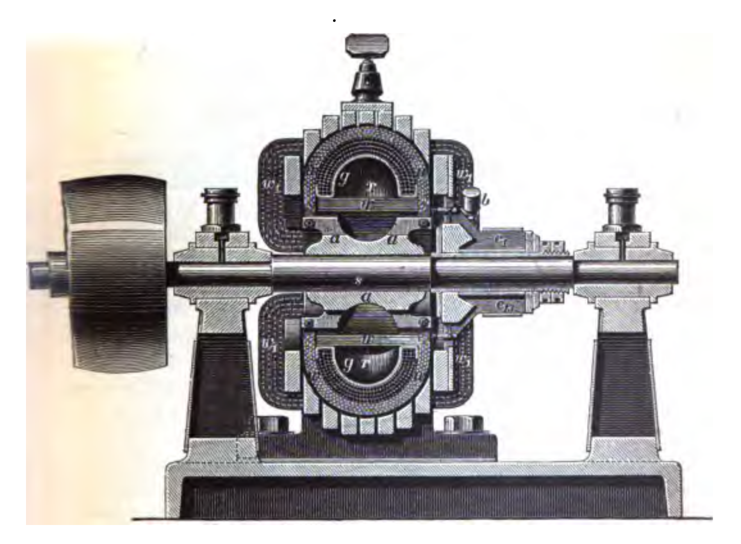


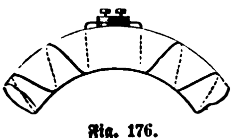
Fig. 174.

den Armaturspiralen, so daß hier Luft zu den inneren Drahtwindungen gelangen kann und deren zu starke Erwärmung verhütet wird. Die ganze äußere konvex gewölbte Ringfläche ist von den induzierenden Elektromagneten umgeben, von denen jeder aus neun Eisenstäben besteht. Die bei der Rotation des Ankers erzeugten Ströme werden durch die Kontaktbürsten b gesammelt und von diesen durch die Drahtwindungen der Elektromagnete geführt, von wo sie dann in den äußern Stromkreis übergehen.

4) Die Desmond G. Fitzgerald-Maschine hat zur Erreichung desselben Zwecks eine nach Fig. 175 geformte Armatur. Der ebenfalls flache Armaturring A ist hier von den Elektromagneten J, J^1 und J^2 umgeben. Die beiden seitlichen Magnete J^1 und J^2 bilden in sich abgeschlossene Hohlringe, welche durch die Lappen J J am Gestell befestigt sind. Der dritte, den mittlern Teil des Armaturumfanges umgebende ringförmige Elektromagnet J ist aus zwei Teilen zusammengesetzt, um ihn an seinen Ort bringen zu können. Die getrennten Teile dieses hohlen ringförmigen Elektromagnets sind so mit dem Drahte umwunden, daß sie zwei Magnete bilden, welche mit ihren gleichen Polen der durch den Armaturring A gelegten Verticalebene gegenüberliegen. Um diese Wirkung hervorzubringen, müssen die Windungen an den Polen entgegengesetzte Richtung haben, wie Fig. 176 illustriert. Die Herstellung dieser Maschine erscheint der komplizierten Anordnung der Elektromagnete wegen ziemlich schwierig und ein besonderer Vorteil dieser Konstruktion liegt auch nicht vor.



Fig. 175.


Fig. 176.

5) Die Gülcher-Maschine (Fig. 177) ist mit vier horizontalen induzierenden Elektromagneten versehen, deren gleichnamige Pole gegenüberstehen und durch Polschuhe vereinigt sind, innerhalb deren die im Querschnitt keilförmige, nach innen sich verjüngende Ringarmatur rotiert, deren Draht in Seilen abteilungsweise, wie beim Pacinotti-Ring, gewunden und einer kräftigen Induzierung ausgesetzt ist. Die Elektromagnete und die vier Kollektorbürsten sind parallel geschaltet, wodurch der Widerstand der Maschine bis auf 0.12 Ohms vermindert wird. Die Maschine liefert bei 950 Touren pro Minute und einer Betriebskraft von etwa zehn Pferdestärken

den Strom für sechs Gülchersche Bogenlampen (vergl. später, Kapitel: Teillichtbogenlampen), von denen jede eine Leuchtkraft von 1200 Normalkerzen geben soll.

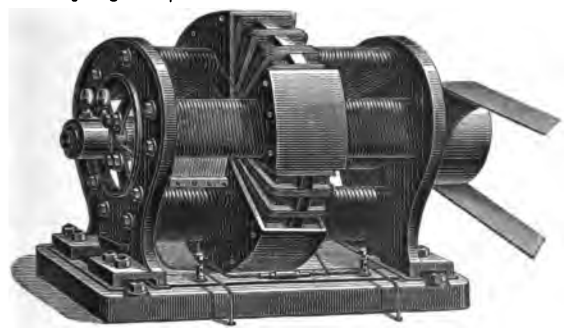


Fig. 177.

6) Die Schwert-Maschine (Fig. 178 und 179) besteht aus einer ringförmigen Armatur R, welche mit vier kupfernen Armen auf der Welle befestigt ist und innerhalb der an beiden Seiten in das Innere des Ringes hineinragenden gußeisernen Polschuhe M,

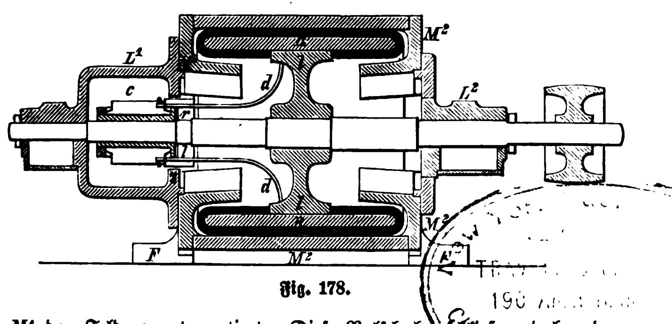
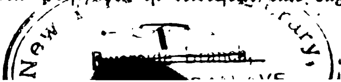


Fig. 178.

M¹ der Feldmagnete rotiert. Diese Polschuhe schließen daher den äußern Umfang und einen Teil des innern Umfanges des Ringes ein, wodurch das magnetische Feld möglichst ausgenutzt werden soll. Der Strom wird durch die Drähte d, welche durch eine auf der Welle sitzende Holzscheibe r hindurchgehen, nach dem Kollektor c geführt. An den Polschuhen ist beiderseits eine Lagerbüchse L¹ und



L^2 angebracht, und der untere Polschuh bildet zugleich das Fußgestell F der Maschine. Außer diesen praktischen Details besitzt die Maschine weiter keine besonderen Eigentümlichkeiten.

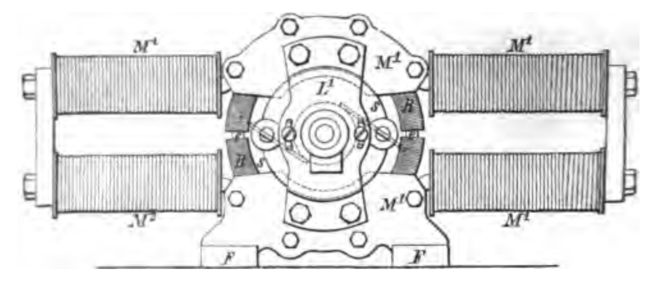


Fig. 179.

7) Die Jürgensen-Maschine (Fig. 180 und 181) zeichnet sich durch eigentümlich geformte Elektromagnete a, a^1 aus, deren Polschuhe a^2, a^3 die Ringarmatur von außen umgeben. Wie bei der Romilly- und der Fein-Maschine sind auch noch innerhalb des Armaturringes (bei d in Fig. 180) Magnete angebracht. Der



Fig. 180.

Armaturring ist, zur Vermeidung der Foucaultschen Ströme, aus einzelnen, von einander isolierten Drahtringen b^1, b^2 gebildet, um welche die Drahtspiralen a gewunden sind. Mittels der Bolzen b^3 ist der Ring vorn an der auf der Welle h festsitzenden Messingscheibe g^2 und hinten an einer Scheibe g^1 befestigt, welche letztere

um eine im Lagerbock befestigte Hülse läuft. Der Kollektor c ist von gleicher Konstruktion wie der an der Gramme-Maschine.

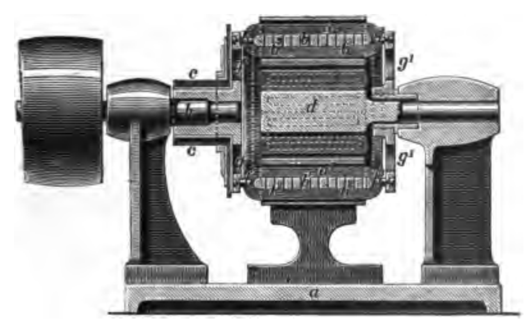


Fig. 181.

Als Trommelmaschinen sind die folgenden Gleichstrommaschinen zu nennen:

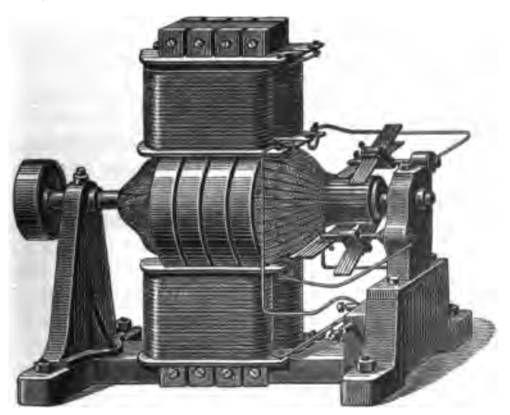


Fig. 182.

8) Die Siemens-Maschine (System Hefner-Alteneck) wird mit verticalen und horizontalen Elektromagneten hergestellt. Die Anordnung der kleinsten Maschinen zeigt Fig. 182, wobei die

L^2 angebracht, und der untere Polschuh bildet zugleich das Fußgestell F der Maschine. Außer diesen praktischen Details besitzt die Maschine weiter keine besonderen Eigentümlichkeiten.

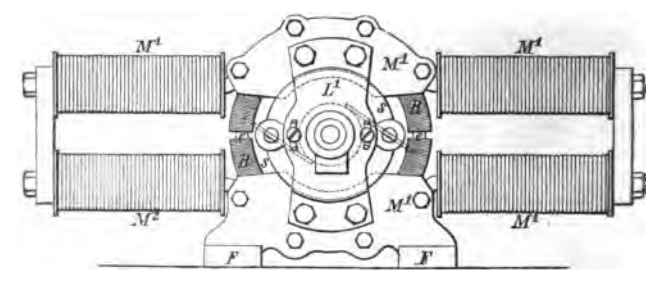


Fig. 179.

7) Die Jürgensen-Maschine (Fig. 180 und 181) zeichnet sich durch eigentümlich geformte Elektromagnete a, a^1 aus, deren Polschuhe a^2, a^3 die Ringarmatur von außen umgeben. Wie bei der Romilly- und der Fein-Maschine sind auch noch innerhalb des Armaturringes (bei d in Fig. 180) Magnete angebracht. Der



Fig. 180.

Armaturring ist, zur Vermeidung der Foucaultschen Ströme, aus einzelnen, von einander isolierten Drahtringen b^1, b^2 gebildet, um welche die Drahtspiralen a gewunden sind. Mittels der Bolzen b^3 ist der Ring vorn an der auf der Welle h festsitzenden Messingscheibe g^2 und hinten an einer Scheibe g^1 befestigt, welche letztere

Maschine kann mit acht bis zehn Pferdestärken Betriebskraft täglich **250—300 kg** reines Kupfer aus den sauren Lösungen des Erzes **ausfällen.**

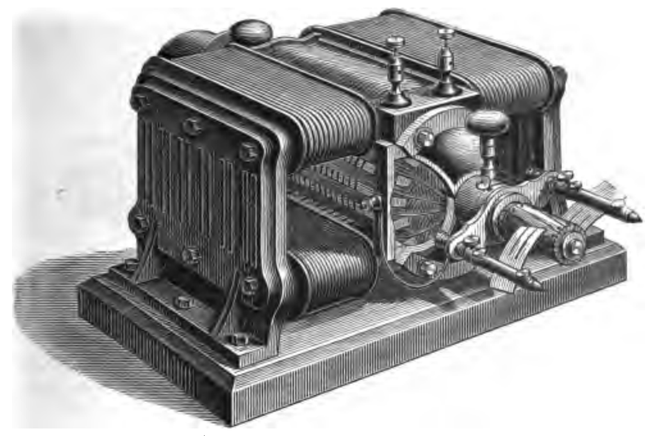


Fig. 184.

9) Die Weston=Maschine wird in der Fig. 184 illustrierten **Form** für Beleuchtungszwecke benutzt. Die elliptisch geformten **Elektromagnete** haben einen hohlen Eisenkern, der zum Zweck der **Kühlung** mit einer Wasserleitung verbunden ist. Fig. 185 illustriert im Querschnitt die modifizierte Weston=Möhring=Maschine. Es sind hier sechs Elektromagnete mit runden Eisenkernen M angebracht, deren Spulen hintereinander geschaltet sind. Die Polschuhe, welche den Induktor A umschließen, sind mit Zungen T und T′ versehen, um die Luft zur Abkühlung durchziehen zu lassen. Die Armatur besteht aus sechsunddreißig Scheiben mit je sechzehn Zähnen (Fig. 186 S. 202). Die Scheiben stehen in geringen Abständen von einander, so daß

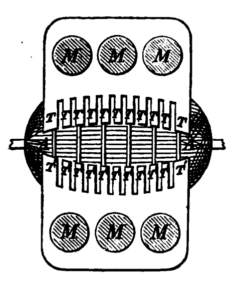


Fig. 185.

dazwischen Luftkanäle frei bleiben, und zwischen die Zähne der Scheiben kommen in der Richtung der Induktoraxe die Draht=

windungen zu liegen. Am Kollektor S (Fig. 187) sind die Kupferstreifen P^1 P^2 u. s. w. spiralförmig angeordnet und mit Zwischenräumen zum Durchzug der Luft versehen; die geschlitzten

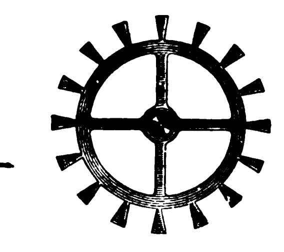


Fig. 186.



Fig. 187.

Enden T der Bürsten B kommen stets mit zwei Streifen P in Berührung und befinden sich also auch stets mit zwei Abteilungen der Bewickelung in Kontakt. Die Bürsten sind aus zehn bis zwölf dünnen gebogenen elastischen Kupferlamellen gebildet.

Neuerdings ist diese Maschine wesentlich verbessert worden*). Die Elektromagnete befinden sich im Nebenschluß, statt wie früher im Hauptschluß, und dieselben beanspruchen infolge ihres verhältnismäßig hohen Widerstandes nur einen sehr geringen Teil des erzeugten Stromes, nämlich nur 2.5 bis 5 Prozent.

Die Gestalt des Ankers bedingt einen geringen Luftwiderstand und die Axenreibung ist nicht groß. Eine Maschine für zwanzig Lampen erzeugt bei 910 Touren eine Stromstärke von 18 Ampères. Der Gesamtwiderstand im Stromkreise, inclusive der zwanzig Lampen von je 1.5 Ohm Widerstand, beträgt 30 Ohm und die Betriebskraft etwa 14 Pferdestärken.

Die kontinuierliche Bewickelung der Armatur mit Abzweigungen nach den einzelnen Kommutatorstreifen, wie sie Gramme anwendet, mußte für die Cylinderarmatur der Weston-Maschine in geeigneter Weise modifiziert werden. Da hier ein und dieselbe Drahtwindung diametral gegenüberliegende Cylinderteile einnimmt, so würde sich im Vergleich zur Gramme-Maschine nur die halbe Anzahl von Kollektorstreifen ergeben. Diesen Übelstand beseitigte Weston durch

*) Uppenborn, Elektrotechnisches Zentralblatt 1883.

die in Fig. 188 schematisch dargestellte Bewickelung. Der Deutlichkeit halber ist in der Figur die Zahl der Wickelungen reduziert. Die Bewickelung beginnt bei a und folgt den ausgezognen Linien. Der Übergang von einer Abteilung zur andern ist stets mit einer Ableitung zum Kollektor versehen, so daß den vier Abteilungen vier Kollektorstreifen entsprechen. An diese Bewickelung schließt sich bei b eine zweite an, deren Windungen auf die der ersten zu liegen kommen; dieselbe ist durch punktierte Linien angedeutet. Das Ende der zweiten Bewickelung wird mit dem Anfang bei a verbunden, wodurch sich vier Abzweigungen nach dem Kollektor ergeben. Befinden sich z. B. die Bürsten bei m m, so folgt die Stromrichtung den angegebenen Pfeilen. Da die zweite Bewickelung größere Draht-

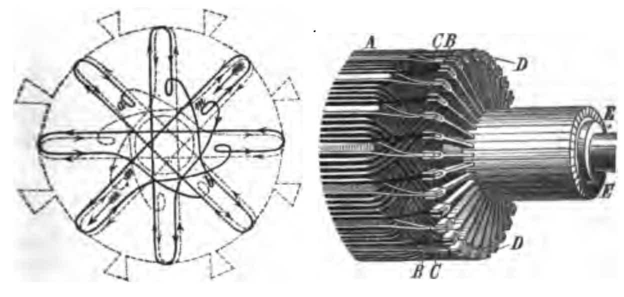


Fig. 188. Fig. 189.

längen besitzt und auch den Magnetpolen näher liegt als die erste, so entstehen in der Wirkung beider Bewickelungen bedeutende Unregelmäßigkeiten, die sich besonders in starker Funkenbildung geltend machen. Es ist daher zweckmäßiger, die beiden Bewickelungen, anstatt übereinander, nebeneinander anzubringen oder sie abwechselnd über- und untereinander herzustellen. Für Maschinen mit hoher Spannung wäre mit Vorteil die in Fig. 189 dargestellte Verbindung des Kollektors mit den Drahtwindungen anzuwenden. Bei dem gewöhnlichen Kollektor kann durch das gleichzeitige Aufliegen der Bürste auf zwei Kollektorstreifen leicht kurzer Schluß und dadurch Verbrennen einer Windungsabteilung herbeigeführt werden. Diese Gefahr ist dadurch beseitigt, daß zwei getrennte abwechselnd nebeneinander liegende Wickelungen mit den entsprechenden Kollektorstreifen verbunden sind. Die zusammengehörigen Windungen sind in Fig. 189

windungen zu liegen. Am Kollektor S (Fig. 187) sind die Kupferstreifen P^1 P^2 u. s. w. spiralförmig angeordnet und mit Zwischenräumen zum Durchzug der Luft versehen; die geschlitzten

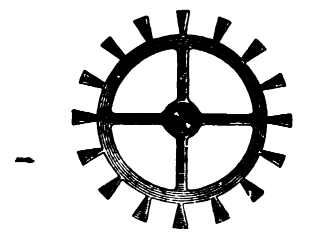


Fig. 186.

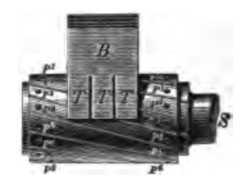


Fig. 187.

Enden T der Bürsten B kommen stets mit zwei Streifen P in Berührung und befinden sich also auch stets mit zwei Abteilungen der Bewickelung in Kontakt. Die Bürsten sind aus zehn bis zwölf dünnen gebogenen elastischen Kupferlamellen gebildet.

Neuerdings ist diese Maschine wesentlich verbessert worden*). Die Elektromagnete befinden sich im Nebenschluß, statt wie früher im Hauptschluß, und dieselben beanspruchen infolge ihres verhältnismäßig hohen Widerstandes nur einen sehr geringen Teil des erzeugten Stromes, nämlich nur 2.5 bis 5 Prozent.

Die Gestalt des Ankers bedingt einen geringen Luftwiderstand und die Axenreibung ist nicht groß. Eine Maschine für zwanzig Lampen erzeugt bei 910 Touren eine Stromstärke von 18 Ampères. Der Gesamtwiderstand im Stromkreise, inclusive der zwanzig Lampen von je 1.5 Ohm Widerstand, beträgt 30 Ohm und die Betriebskraft etwa 14 Pferdestärken.

Die kontinuierliche Bewickelung der Armatur mit Abzweigungen nach den einzelnen Kommutatorstreifen, wie sie Gramme anwendet, mußte für die Cylinderarmatur der Weston-Maschine in geeigneter Weise modifiziert werden. Da hier ein und dieselbe Drahtwindung diametral gegenüberliegende Cylinderteile einnimmt, so würde sich im Vergleich zur Gramme-Maschine nur die halbe Anzahl von Kollektorstreifen ergeben. Diesen Übelstand beseitigte Weston durch

*) Uppenborn, Elektrotechnisches Zentralblatt 1883.

die in Fig. 188 schematisch dargestellte Bewickelung. Der Deutlichkeit halber ist in der Figur die Zahl der Wickelungen reduziert. Die Bewickelung beginnt bei a und folgt den ausgezognen Linien. Der Übergang von einer Abteilung zur andern ist stets mit einer Ableitung zum Kollektor versehen, so daß den vier Abteilungen vier Kollektorstreifen entsprechen. An diese Bewickelung schließt sich bei b eine zweite an, deren Windungen auf die der ersten zu liegen kommen; dieselbe ist durch punktierte Linien angedeutet. Das Ende der zweiten Bewickelung wird mit dem Anfang bei a verbunden, wodurch sich vier Abzweigungen nach dem Kollektor ergeben. Befinden sich z. B. die Bürsten bei m m, so folgt die Stromrichtung den angegebenen Pfeilen. Da die zweite Bewickelung größere Draht-

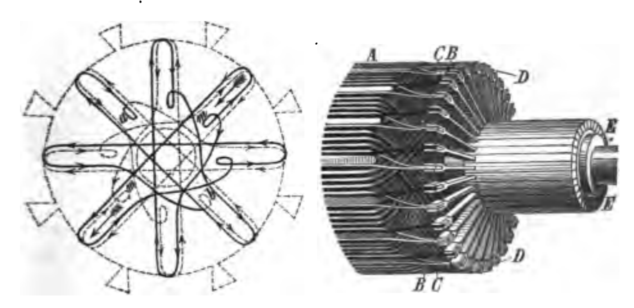


Fig. 188. Fig. 189.

längen besitzt und auch den Magnetpolen näher liegt als die erste, so entstehen in der Wirkung beider Bewickelungen bedeutende Unregelmäßigkeiten, die sich besonders in starker Funkenbildung geltend machen. Es ist daher zweckmäßiger, die beiden Bewickelungen, anstatt übereinander, nebeneinander anzubringen oder sie abwechselnd über- und untereinander herzustellen. Für Maschinen mit hoher Spannung wäre mit Vorteil die in Fig. 189 dargestellte Verbindung des Kollektors mit den Drahtwindungen anzuwenden. Bei dem gewöhnlichen Kollektor kann durch das gleichzeitige Aufliegen der Bürste auf zwei Kollektorstreifen leicht kurzer Schluß und dadurch Verbrennen einer Windungsabteilung herbeigeführt werden. Diese Gefahr ist dadurch beseitigt, daß zwei getrennte abwechselnd nebeneinander liegende Wickelungen mit den entsprechenden Kollektorstreifen verbunden sind. Die zusammengehörigen Windungen sind in Fig. 189

durch schwarze und weiße Linien angedeutet. Kurzer Schluß kann hier nicht eintreten, da zwischen zwei ein und derselben Wickelung zugehörige Kollektorstreifen stets ein der andern Wickelung zugehöriger Streifen zu liegen kommt; um kurzen Schluß herzustellen müßte daher die Bürste gleichzeitig auf drei Streifen aufliegen, was kaum denkbar ist.

10) Zipernowskys Maschine (Fig. 190—196). Diese Maschine besteht aus einer Cylinderarmatur, welche mit isolierten Kupferdrähten bewickelt und in ein Gestell BB (Fig. 190 und 191) innerhalb der ringförmigen Magnete NN, SS, N′N′, S′S′ eingelagert ist und durch die Scheibe C angetrieben wird; die induzierenden Magnete sind mit vier oder mehr Konsequenzpolen derartig angeordnet, daß dieselben in entgegengesetzter Polarität auf einander

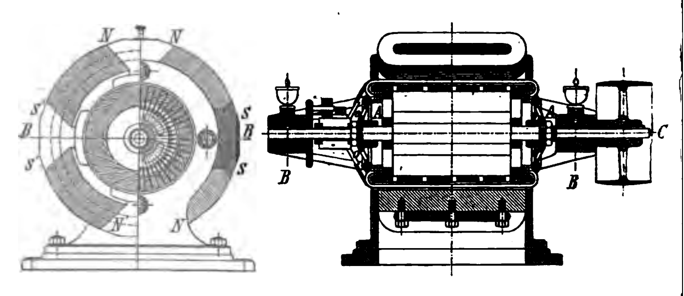


Fig. 190. Fig. 191.

folgen. Es ändert somit durch die Rotation der Armatur der in derselben erzeugte Strom bei einer Umdrehung 4, 6, 8 im allgemeinen bei 2 n Konsequenzpolen (wo n eine beliebige Zahl bedeutet) auch 2 n mal seine Richtung und können die erzeugten Ströme n gesonderte Stromkreise bilden, wobei man aber auch mehrere zu einem einzigen Stromkreise vereinigen kann.

Von den so erzeugten Strömen dienen einzelne oder mehrere zur Erregung der Elektromagnete, um dann als dynamoelektrische Ströme verwendet zu werden, während die anderen als magnetelektrische Ströme besondere Stromkreise bilden.

Ist die Anzahl der Konsequenzpole = 2 n und N eine praktisch festgesetzte Zahl, welche nach dem Durchmesser des zu verwendenden Drahtes bestimmt wird, so ist die Anzahl der einzelnen Kupferdraht-

pulen, welche vom Armaturdraht gebildet werden, $= N . 2 n . 2 n =$ $N n^2$. Die Spuldrähte bilden Parallelogramme, deren Längsseiten nit der Cylinderaxe parallel laufen, und sind zu einer Spule der- rtig gewunden, daß die Längsdrähte des Spulenparallelogramms egen die auf einander folgenden Magnetpole immer gleiche Lage aben, sich somit je zwei entgegengesetzten Polen gleichzeitig nähern der sie verlassen, wodurch in beiden Teilen sowohl gleichlaufende ls auch gleichstarke Ströme induziert werden, welche sich somit ddieren.

Fig. 192 illustriert die Bewickelung der Armatur für gleich- gerichtete Ströme, wobei — der Deutlichkeit wegen — der gesamte Draht in nur zwölf Spulen eingeteilt ist, obwohl in Wirklichkeit deren viel mehr vorhanden sind. Ferner ist die Armatur als schlanker Kegel gedacht und die Bewickelung samt dem Kollektor auf die Basis dieses Kegels projiziert.

Infolge dieser Anordnung treffen sich auf den Sektoren d und k je zwei positive und auf den Sektoren g und a je zwei negative Ströme. Es dienen somit die durch diese Sektoren markierten Stellen zur Ableitung der erzeugten Ströme.

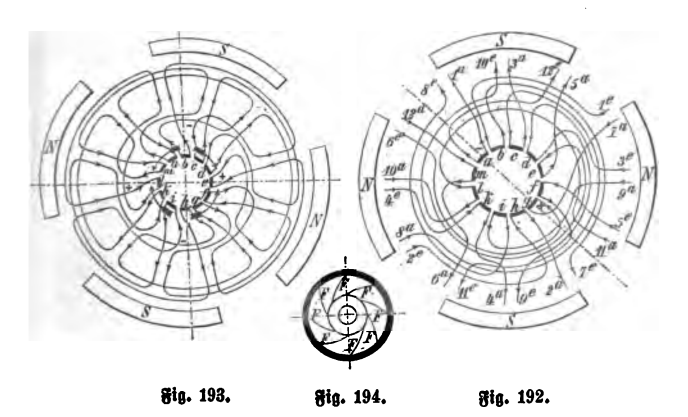


Fig. 193. Fig. 194. Fig. 192.

Als Folge der getroffenen Anordnung treten zwei Stromkreise auf, welche entweder getrennt hintereinander oder nebeneinander geschaltet verwendet werden. Nach dieser Methode der Strom- sammlung sind vier Ableitungsstellen vorhanden und somit vier

Ableitungsorgane nötig; nach der in Fig. 193 angegebenen Methode jedoch nur zwei.

In Fig. 192 sind die Umwindungen weggelassen und bloß die Drahtenden markiert und zwar der Anfang der ersten Spule mit 1 a, ihr Ende mit 1 e u. s. f.

Anstatt hier z. B. die Spule 1 mit der darauf folgenden Spule 3 zu verbinden, wird die auf der entgegengesetzten Seite der Armatur liegende Spule 2 dazwischengeschaltet. Anstatt der Spule 2 kann auch jede mit derselben gleichwertige Spule genommen werden, hier z. B. ist es bequemer, anstatt Spule 2, Spule 7 dazwischenzuschalten, welche auch in Fig. 192 thatsächlich verwendet wurde.

Ähnliche Vertauschungen sind auch noch an anderen Spulen vorgenommen worden; der hierdurch gewonnene einzige Stromkreis entspricht demjenigen, welcher durch Hintereinanderschalten der Spulen in Fig. 193 zwei Stromkreise ergiebt. Der Unterschied zwischen der in Fig. 193 illustrierten Hefner-Alteneckschen Wickelung und der Zipernowskyschen ist der, daß bei der erstern die Längsdrähte des Spulenparallelogramms immer durch Diametraldrähte verbunden sind, bei der letztern dagegen durch Sehnen. Die Hefner-Altenecksche Wickelung ist daher nur für folgende Anzahlen von mehrfachen Polen anwendbar: 2 mal 1, 2 mal 3, 2 mal 5, im allgemeinen 2 (2 n — 1), wo n wieder eine ganze Zahl bedeutet, während die Zipernowskysche Wickelung im allgemeinen für 2 n Konsequenzpole anwendbar ist, ohne der allzu langen Diametraldrähte halber unpraktisch zu werden, weil eben keine vorkommen.

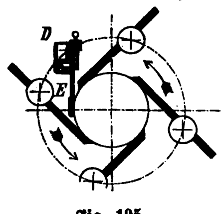



Fig. 195.

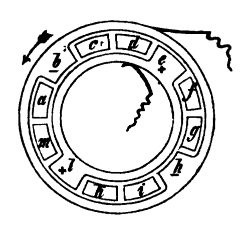


Fig. 196.

Sollen mittels dieser Maschine Wechselströme erzeugt werden, so sind je zwei gegenüber liegende Sektoren des Kollektors (Fig. 196) durch Schleifringe, welche von den übrigen Sektoren isoliert sind,

verbunden. Auf diesen Ringen schleifen die Kontaktfedern, welche zur Ableitung der Ströme dienen. In Fig. 196 sind die Wechselstromkreise 1 1 geschaltet gedacht; für gesonderte Stromkreise müßten drei bis vier Ringe angewendet werden. Wird der Widerstand der Elektromagnetdrähte entsprechend gewählt, so können dieselben durch einen Teil des Gesamtstromes, welcher als gleichgerichteter Strom von dem Kollektor abgesendet wird, magnetisiert werden, während der Rest durch die Kontaktfedern als Wechselstrom abgeleitet wird.

Die Mantelfläche des Armaturcylinders ist an vielen Stellen unterbrochen, das Innere desselben enthält mehrere gekrümmte Schaufeln F (Fig. 194) und die zur Befestigung des Spuldrahtes dienenden Scheiben A A (Fig. 191) haben mehrere Öffnungen, wodurch Luft in das Innere der Armatur eindringen kann. Durch die rasche Rotation der Armatur wird die Luft mittels der Schaufeln F zwischen den Spuldrähten hindurchgetrieben, wodurch dieselben wirksam gekühlt werden.

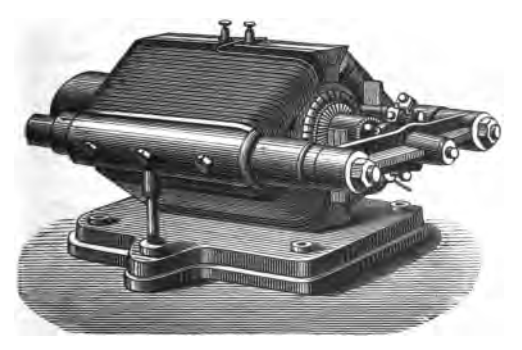


Fig. 197.

11) De Méritens kleine Dynamomaschine (Fig. 197 und 198) ist besonders zum Experimentieren bestimmt und es können damit mehrere Glühlampen oder eine kleine Bogenlampe betrieben werden. Die Maschine (Fig. 197) besteht aus vier Feldmagneten, welche auf der Außenseite eines mit vier Längsrippen versehenen Gußeisencylinders befestigt sind, der innen genau cylindrisch ausgebohrt ist, um die nach de Méritens Prinzip (vergl. S. 177 ff.) bewickelte Armatur aufzunehmen. Diese Armatur besteht aus einem

in Segmente eingeteilten Messingring und in jedem dieser Segmente befindet sich ein kleiner, aus einer Anzahl dünner Eisenplatten gebildeter Kern, um welchen der isolierte Draht gewunden ist. Die freien Enden der Drahtspiralen sind mit einem Kommutator gewöhnlicher Konstruktion verbunden. Die Spiralen sind mit Kork isoliert und können daher eine sehr hohe Spannung aushalten. Die Maschine ist mit verschiedenem Drahte bewickelt, um Bogenlichter mit Quantitätsstrom und Glühlichter mit Spannungsstrom betreiben, elektrolytische Wirkungen verrichten oder Sekundärbatterien laden zu können. Bei Benutzung zu letzterem Zwecke werden die Magnete in einen Nebenschluß eingeschaltet, wie dies Fig. 198 illustriert. A A′ sind hier die Feldmagnete, B der Akkumulator, C der Kommutator und D die Bürsten. Diese Maschine wird auch für Handbetrieb gebaut.

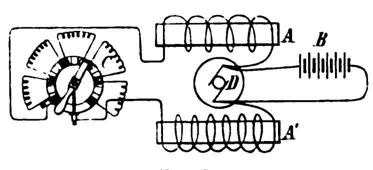


Fig. 198.

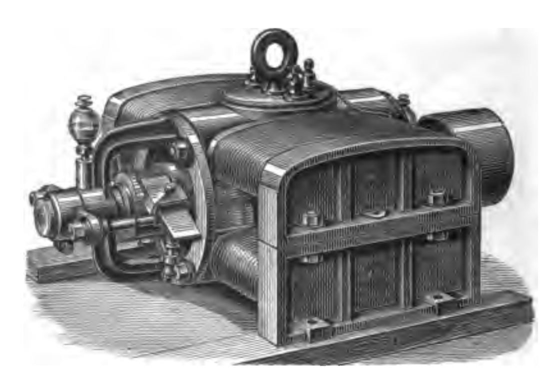


Fig. 199.

12) Die Bürgin-Maschine (Fig. 199—201) hat eine modifizierte trommelartige Gramme-Armatur, die aus acht sechseckigen Rahmen von weichem Eisen besteht, welche der Reihe nach so gegen

einander verschoben sind, daß sie eine Art Spirale bilden (Fig. 200). Diese Rahmen sind so mit Draht bewickelt, daß die Ecken frei bleiben (Fig. 201) und daß der Umfang der Armatur cylindrisch sich der Höhlung der Polschuhe anschmiegt. Die sechs Spiralen jedes Rahmens sind hintereinander geschaltet, und so mit den Spiralen der anderen Rahmen verbunden, daß die sämtlichen achtundvierzig Spiralen einen

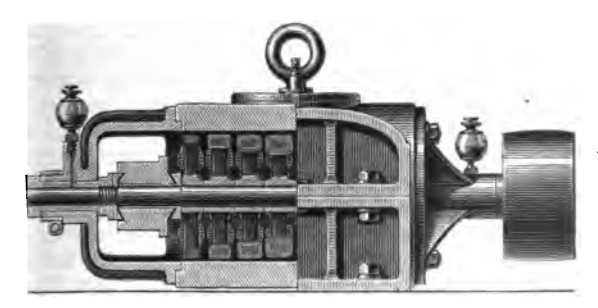


Fig. 200.

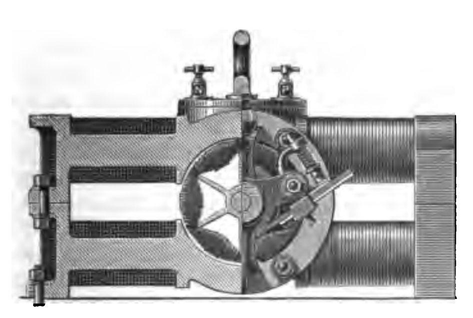


Fig. 201.

einzigen Stromkreis bilden. Die Vereinigungsstellen je zweier Spiralen sind mit einer der sechs Kollektorplatten verbunden; zwei auf dem Kollektor schleifende Bürsten sammeln den induzierten Strom. Die freien Ecken der Eisenrahmen bewirken eine kräftige Induktion der Kerne und verhüten die Erhitzung, so daß die Maschine mit großer Tourenzahl laufen kann. Die Elektromagnete sind ähnlich

tritt in die Scheibe 2, geht durch die Scheibe hindurch und kehrt durch einen in der Figur nicht sichtbaren, aber direkt hinter dem untersten Barren befindlichen Barren, der mit denselben Scheiben verbunden ist, bis zur Scheibe 8 zurück, wie durch die Pfeile angedeutet wird; dem Strome stehen nunmehr zwei Wege offen, der eine führt durch die erwähnte Zunge nach dem Kommutator, der andere durch den zweiten, ebenfalls mit der Scheibe 3 verbundenen Barren wieder nach rechts bis zur Scheibe 4. Die Ströme haben demnach stets die gleiche Richtung.

Der in Fig. 205 dargestellte Kollektor Edisons ist mit Rücksicht darauf konstruiert, daß die Funken, welche bei dem Übergange der einzelnen Kontaktbürsten von einer Leitungsfläche zur andern sich erzeugen, durch Zerteilung vermindert werden. Diese Verminderung erfolgt etwa im Quadrat zur Anzahl der Punkte, in welchen der Strom gebrochen wird. Zu dem Zweck sind die isolierenden, in der Abbildung schwarz dargestellten Stellen des Kollektors verbreitert und die Leitungsstreifen an dem einen Kollektorende durch Abstufung verschmälert worden; auf diesem schmalen Teile liegt eine einzelne Bürste e, deren Berührung des Kontakts merklich später erfolgt, als diejenige der Hauptbürsten dd. Diese Bürste wird die isolierte Bürste genannt, denn sie ist nicht direkt mit den Hauptbürsten verbunden, sondern ihre Verbindung mit denselben erfolgt durch eine Reihe von Brechungspunkten auf dem Brechungscylinder B, der eben so viele Kontaktstreifen wie der Kollektor hat. Die Anbringung dieses Brechungscylinders kann in verschiedener Weise stattfinden.

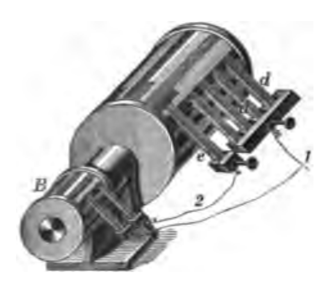


Fig. 205.

Endlich sind noch unter den Gleichstrommaschinen als Scheibenmaschinen zu nennen:

14) Die Maxim-Maschine ist in ihrer äußern Gestalt der in Fig. 182 abgebildeten Siemens-Maschine vollkommen ähnlich. Sie ist mit einem röhrenförmigen Cylinderinduktor versehen, der eine Art Grammeschen Ring bildet, nach der Grammeschen Methode bewickelt ist und dessen Spiralen mit einander verbunden sind. Jede

der sechzehn Drahtspulen des Induktors besteht aus vier Drahtlagen und die einzelnen Enden der Drähte sind mit je zwei Enden des Kollektors verbunden, der zu diesem Zwecke aus 64 Stäben

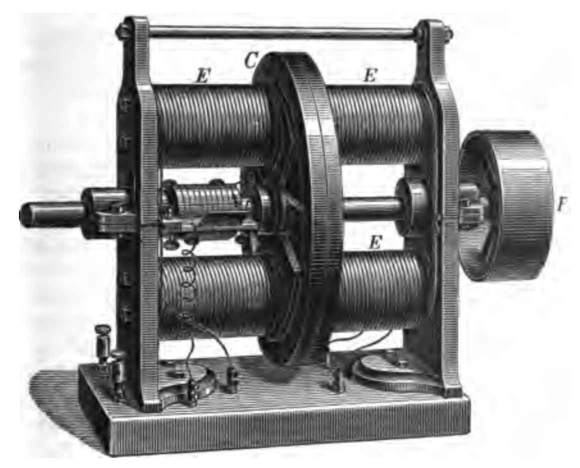


Fig. 206 a.

besteht. Bei den Maximschen Lichtmaschinen befindet sich beiderseits des Induktors ein Kollektor und sind die der Reihe nach mit 1, 2, 3 u. s. w. numerierten Spulen in den geraden Nummern mit dem einen und in den ungeraden Nummern mit dem andern Kollektor verbunden. Die so gebildeten beiden Stromkreise können nach Bedarf hintereinander auf Spannung oder parallel nebeneinander auf Quantität mittels eines Stöpselumschalters verkuppelt werden. In ihrer Leistungsfähigkeit steht die Maxim-Maschine der Siemens- und der Gramme-Maschine nach.

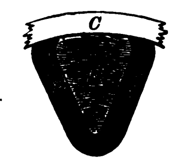


Fig. 206 b.

15) Die Ball- oder Arago-Scheibenmaschine (Fig. 206 a und 206 b), eine von Klinton Ball zu Troy im Staate Newyork ausgeführte Maschine. Fig. 206 stellt deren einfachste Anordnung als sogenannte bipolare Maschine dar. Dieselbe besteht aus zwei

tritt in die Scheibe 2, geht durch die Scheibe hindurch und kehrt durch einen in der Figur nicht sichtbaren, aber direkt hinter dem untersten Barren befindlichen Barren, der mit denselben Scheiben verbunden ist, bis zur Scheibe 8 zurück, wie durch die Pfeile angedeutet wird; dem Strome stehen nunmehr zwei Wege offen, der eine führt durch die erwähnte Zunge nach dem Kommutator, der andere durch den zweiten, ebenfalls mit der Scheibe 3 verbundenen Barren wieder nach rechts bis zur Scheibe 4. Die Ströme haben demnach stets die gleiche Richtung.

Der in Fig. 205 dargestellte Kollektor Edisons ist mit Rücksicht darauf konstruiert, daß die Funken, welche bei dem Übergange der einzelnen Kontaktbürsten von einer Leitungsfläche zur andern sich erzeugen, durch Zerteilung vermindert werden. Diese Verminderung erfolgt etwa im Quadrat zur Anzahl der Punkte, in welchen der Strom gebrochen wird. Zu dem Zweck sind die isolierenden, in der Abbildung schwarz dargestellten Stellen des Kollektors verbreitert und die Leitungsstreifen an dem einen Kollektorende durch Abstufung verschmälert worden; auf diesem schmalen Teile liegt eine einzelne Bürste e, deren Berührung des Kontakts merklich später erfolgt, als diejenige der Hauptbürsten dd. Diese Bürste wird die isolierte Bürste genannt, denn sie ist nicht direkt mit den Hauptbürsten verbunden, sondern ihre Verbindung mit denselben erfolgt durch eine Reihe von Brechungspunkten auf dem Brechungscylinder B, der eben so viele Kontaktstreifen wie der Kollektor hat. Die Anbringung dieses Brechungscylinders kann in verschiedener Weise stattfinden.

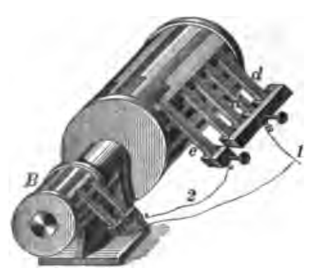


Fig. 205.

Endlich sind noch unter den Gleichstrommaschinen als Scheibenmaschinen zu nennen:

14) Die Maxim-Maschine ist in ihrer äußern Gestalt der in Fig. 182 abgebildeten Siemens-Maschine vollkommen ähnlich. Sie ist mit einem röhrenförmigen Cylinderinduktor versehen, der eine Art Grammeschen Ring bildet, nach der Grammeschen Methode bewickelt ist und dessen Spiralen mit einander verbunden sind. Jede

der sechzehn Drahtspulen des Induktors besteht aus vier Drahtlagen und die einzelnen Enden der Drähte sind mit je zwei Enden des Kollektors verbunden, der zu diesem Zwecke aus 64 Stäben

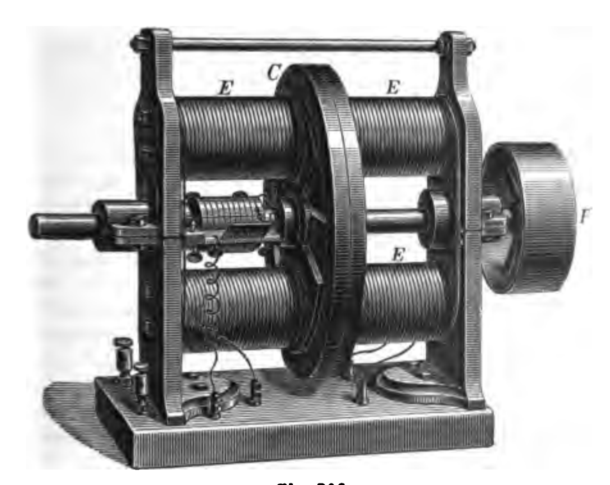


Fig. 206 a.

besteht. Bei den Maximschen Lichtmaschinen befindet sich beiderseits des Induktors ein Kollektor und sind die der Reihe nach mit 1, 2, 3 u. s. w. numerierten Spulen in den geraden Nummern mit dem einen und in den ungeraden Nummern mit dem andern Kollektor verbunden. Die so gebildeten beiden Stromkreise können nach Bedarf hintereinander auf Spannung oder parallel nebeneinander auf Quantität mittels eines Stöpselumschalters verkuppelt werden. In ihrer Leistungsfähigkeit steht die Maxim-Maschine der Siemens- und der Gramme-Maschine nach.

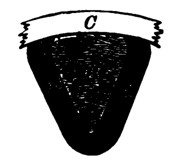


Fig. 206 b.

15) Die Ball- oder Arago-Scheibenmaschine (Fig. 206 a und 206 b), eine von Klinton Ball zu Troy im Staate Newyork ausgeführte Maschine. Fig. 206 stellt deren einfachste Anordnung als sogenannte bipolare Maschine dar. Dieselbe besteht aus zw-

Paar Elektromagneten EE. Diese Magnete sind so bewickelt, daß die gegenüberstehenden Pole ungleichnamig sind. Die Magnete sind mit sektorförmigen Polstücken versehen, welche zusammen den größern Teil einer Scheibe bilden. Zwischen den so verbreiterten Polen, welche nur einen schmalen Raum freilassen, befindet sich der scheibenförmige Induktor, worin sektorförmige Drahtspulen F (Fig. 206b) mit einem hölzernen Kerne B sitzen; C bezeichnet den Rand der Scheibe. Alle sechs Spulen sind hintereinander geschaltet, wobei jeder Stab des Kollektors mit dem Verbindungsdrahte zwischen zwei Spulen verbunden ist. Die Kollektorstäbe liegen unter etwa 30° gegen die Axe, so daß die gegenüberstehenden Spulen während eines Teiles der Umdrehung ausgeschaltet werden und der innere Widerstand vermindert wird. Zwei auf der Welle befestigte Platten halten die Spulen und ein doppelter Messingring C umschließt dieselben.

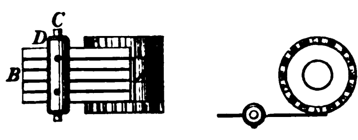


Fig. 207 a.

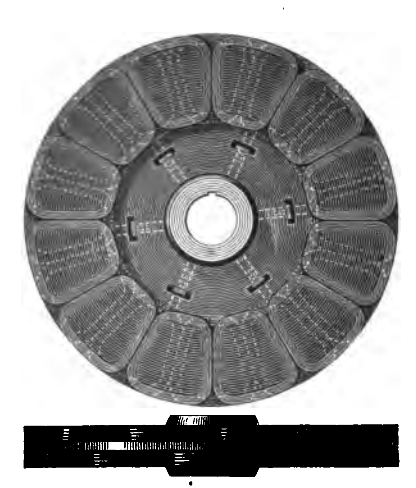


Fig. 207 b.

Bei der zusammengesetzten (Compound-) Maschine stehen drei Paar Elektromagnete einander gegenüber. Der dazwischen rotierende Induktor hat acht Spulen mit zwei Windungslagen, von denen die eine mit dem Kollektor zur Lieferung des äußern Stromes verbunden ist, die andre den Strom für die Magnete liefert. Bei 1000 Touren pro Minute und mit sechs Pferdestärken Betriebskraft speist die Maschine zehn hintereinander geschaltete Bogenlampen.

16) Die Hopkinson-Muirhead-Maschine (Fig. 207 a und 207 b) hat einen mit Rücksicht auf Funkenverhütung konstruierten Kollektor A (Fig. 207 a), dessen Bürsten B in Teile zerlegt sind, die in einem Metallcylinder D sitzen. An jeder Seite des Kollektors befindet sich ein besonderer Kollektorring. Ein Teil der vielteiligen Hauptbürste schleift auf einem der Seitenringe und tritt mit jedem Kollektorstabe erst später in Kontakt als die übrigen Teile der Hauptbürste. Von dieser Bürste geht der Strom nach einer unten liegenden Hülsbürste, welche auf dem andern versetzten Kollektorringe schleift, dessen Stäbe in der Richtung der Zwischenräume des Hauptkollektors liegen. Um nach dieser Bürste zu gelangen, muß aber der Strom erst einen Widerstand durchlaufen. Fig. 207 b zeigt die Anordnung der Armatur in der Seitenansicht und im Grundriß.

17) Die neueste Siemenssche Gleichstrommaschine (System Hefner-Alteneck) (Fig. 208—211) ist so angeordnet, daß die getrennten elektrischen Impulse, welche unmittelbar nach einander in den verschiedenen Teilen der Maschine erregt werden, sich zu einem kontinuierlichen Strome vereinigen, während bei den bisherigen Konstruktionen eine derartige Kombination nur bei den Impulsen stattfinden kann, welche in den auf einander folgenden Magnetfeldern entstehen.

Zu dem Zwecke sind, wie Fig. 208 und 209 S. 216 im Längsdurchschnitt und in der Seitenansicht zeigen, innerhalb zwei kreisförmiger durch eine Grundplatte A und Querstangen verbundener gußeiserner Ständer B eine gerade Anzahl z. B. zehn paarweis einander gegenüberstehender cylindrischer Elektromagnete C um die Axe E herum im Kreise angeordnet. Die verbreiterten Pole N S je zwei gegenüberstehender und je zwei benachbarter Elektromagnete sind entgegengesetzter Art, so daß zwischen jedem Paare gegenüberstehender Pole ein kräftiges magnetisches Feld von entgegengesetzter Polarität zu den beiden Seitenfeldern gebildet wird. Durch diese magnetischen Felder rotieren die aus besponnenem, über Holzkerne gewundnem Drahte gebildeten Spulen F, welche am Kranze eines Rades befestigt sind. Wenn die Anzahl der Spulen dieselbe ist, wie diejenige der Elektromagnete, wie dies bei den früheren Maschinen der Fall war, so entstehen in allen gleichzeitig induzierte Ströme. Bei der neuen Maschine ist jedoch die Zahl der Spulen verschieden von der Anzahl der magnetischen Felder, durch welche dieselben hindurchgehen, indem z. B. acht Spulen und zehn Magnetfelder vorhanden sind. Die Wirkung hiervon ist, daß jedes Paar der diametral gegenüberstehenden

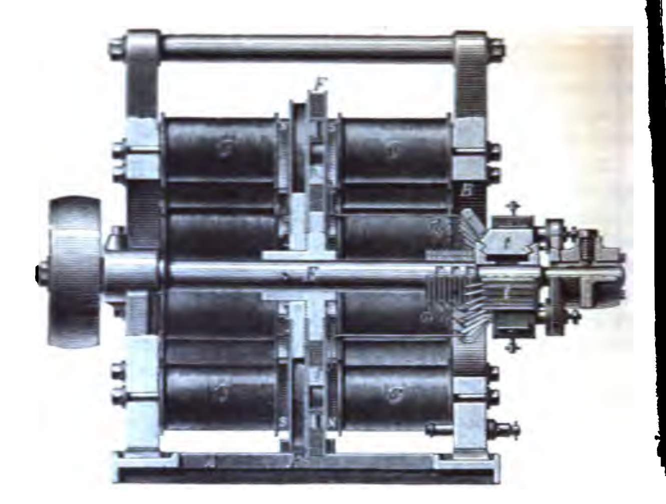


Fig. 208.



Fig. 209.

Spulen sich stets in derselben Induktionsphase befindet, während jedes folgende Paar, je nach seiner Stellung, einem größern oder geringern induktiven Einflusse unterliegt. Es folgt hieraus, daß der Strom seine Maximal- oder Minimalstärke nach einander in jedem Paar der diametral gegenüberstehenden Spulen erreicht.

Die Drähte aller Spulen sind so verbunden, daß dieselben einen kontinuierlichen Stromkreis bilden, indem dieselben abwechselnd in entgegengesetzten Richtungen gewunden sind. Die Impulse aller Spulen werden auf diese Weise summiert. Auf der Welle sitzt ein Kollektor von gewöhnlicher Konstruktion, welcher aus vierzig isolierten Platten besteht, die in fünf Gruppen zu je acht Platten eingeteilt sind. Diese Gruppierung wird durch acht isolierte, auf der Welle befestigte Ringe r erreicht, mit denen je fünf Kollektorplatten t durch fünf Drähte d verbunden sind; da nun die Ringe je mit dem Drahte der beiden folgenden Spulen in Verbindung stehen, so entsprechen die auf einander folgenden Gruppen der Kollektorplatten in ihrer Anordnung den auf einander folgenden Verbindungen der Spulen.

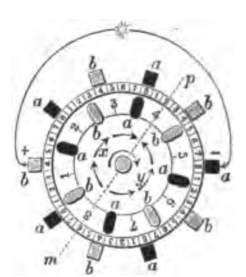


Fig. 210.

Das Diagramm Fig. 210 illustriert die Wirkungsweise der Maschine. Die äußeren Quadrate a b repräsentieren die zehn stationären Magnetfelder von abwechselnder Polarität durch helle und dunkle Schraffierung. Die im innern Umkreise stehenden Ovalen a b stellen die acht Spulen dar, welche durch die Magnetfelder rotieren. Der geteilte, dazwischen liegende Kreis ist der Kollektor. Seine vierzig, in fünf Gruppen geordneten Platten sind für jede Gruppe von 1—8 numeriert. Die Ziffern 1, 2, 3 u. s. w. zwischen den Ovalen a b bezeichnen die Drähte, welche von dem Verbindungsdrahte jedes nebeneinander stehenden Spulenpaares nach den isolierten Kollektorringen und von da nach den betreffenden Kollektorstäben geführt sind. Auf diese Weise ist z. B. der Draht 1 durch seine Ringe mit allen durch 3 markierten Platten, Draht 2 mit allen durch 8 markierten Platten und so fort verbunden. Die mit + und — bezeichneten Pfeile bedeuten die Kontaktbürsten. Denkt man sich die Spulen mit dem Kollektorcylinder beispielsweise im Sinne eines Uhrzeigers (oben von links nach rechts) rotierend, so kann man

bei jeder beliebigen Stellung des Spulenkreises eine diametrale Linie durch das Diagramm ziehen, wodurch dasselbe so halbiert wird, daß in der einen Hälfte nur gleichpolare (helle oder dunkle) Magnetfelder und Spulen, in der andern Hälfte aber nur ungleichpolare Magnetfelder und Spulen gegen einander gehen.

Im Diagramm Fig. 210 ist eine solche Linie m p angegeben. Alle den Magnetfeldern sich nähernden Spulen sind mit denselben Buchstaben bezeichnet. Unter diesen Umständen entstehen Ströme von gleicher Richtung, welche durch die Pfeile x angedeutet sind. Wenn sich aber die Spulen entgegengesetzt polaren Magnetfeldern nähern, also eine Spule a nach einem Felde b, oder eine Spule b nach einem Felde a zu geht, so entstehen Ströme von entgegengesetzter Richtung, welche durch die Pfeile y bezeichnet sind.



Fig. 211.

In Fig. 210 geht die Teilungslinie m p durch die 4 und 8, und da die Kontaktbürsten sich mit den entsprechenden Platten 4 und 8 des Kollektors in Kontakt befinden, so nehmen dieselben einerseits positive, andrerseits negative Elektrizität auf. Die gedachte Linie m p dreht sich immer in einer zur Drehung des Kollektors entgegengesetzten Richtung mit um so viel größerer Geschwindigkeit, daß die Kontaktbürsten sich stets in der zur Aufnahme der Ströme geeigneten Stellung befinden.

Die Anzahl der Spulen kann im Verhältnis zur Anzahl der Magnetfelder verdoppelt werden, indem man dieselben in zwei Ebenen an einander liegend derartig anordnet, daß sie sich zur Hälfte überdecken. Eine solche Anordnung der Spulen bietet den besondern Vorteil, daß wegen der konstanten Rückwirkung auf die Magnetpole die Maschine einen ruhigeren Gang und eine bessere Wirkung erhält; auch treten alsdann am Kollektor weniger Funken auf. Die für diese Anordnung der Spulen geeignete Verbindungsweise mit dem Kollektor ist in Fig. 211 illustriert. Die Pfeile deuten die Stromrichtungen nach und von den verschiedenen Spulen an und die die Verbindungslinien der Spulen markierenden Ziffern bezeichnen die Verbindungen mit den Kollektorringen nach den Kollektorplatten, von denen hier 80 Stück vorhanden sind.

Anstatt die Ströme von einer Anzahl mit einander verbundener Spulen zu sammeln, kann jede Spule auch so angeordnet werden, daß sie ihren Strom einzeln abgiebt, und diese Ströme, welche wechselnde Richtung haben, können als Ströme von konstanter Richtung gesammelt oder auch als Wechselströme abgeführt werden.

Ein Vorzug dieser Maschine beruht in der einfachen Wickelung der Spulen und in der Leichtigkeit, die Spulendrähte von den Metallteilen der Maschine gehörig zu isolieren. Als wichtig wird außerdem angeführt, daß die Spulen keine Eisenkerne enthalten und demnach auch kein Polwechsel stattfindet, folglich auch der damit verbundene Kraftverlust vermieden wird. Auch ist die im Verhältnis zur Stromstärke sich steigernde Erhitzung der Maschine bedeutend verringert.

18) Die Wallace-Farmer-Maschine hat eine aus zwei dicht zusammen auf der Welle sitzenden Scheiben gebildete Armatur. Jede Scheibe ist mit 25 flachen, in radialer Richtung keilförmigen Spulen versehen, deren Eisenkerne der Abkühlung wegen durchbohrt sind. Jede Spule besteht aus vier Drahtlagen, die hintereinander geschaltet sind, und die sämtlichen Spulendrähte bilden eine fortlaufende Leitung. Von jeder Lötstelle der Drähte zweier benachbarter Spulen ist ein Zweigdraht nach einem Kollektorstabe geführt, wodurch eine der Grammeschen Methode ähnliche Stromabnahme durch die Bürsten erzielt wird. Jede Induktorscheibe läuft vor einem mit zwei flachen, nach dem Umfang der Scheibe gekrümmten Schenkeln versehenen Elektromagnet, dessen beide Schenkel durch den Gestellbock verbunden sind, und jeder Induktor liefert seinen eigenen Strom, so daß man die beiden Ströme einzeln in besonderen Stromkreisen oder zusammen in einem Stromkreise verwenden kann. Diese Maschine soll bei 800 Touren sehr heiß laufen und verhältnismäßig viel Betriebskraft erfordern.

19) Die Lontin-Maschine hat eine sternförmige Armatur, deren zehn oder mehr radial gerichtete, nach außen sich verdickende, in gleicher Richtung bewickelte Spulen zwischen den senkrechten Schenkeln eines kräftigen Elektromagnets rotieren. Das letzte Drahtende jeder Spule ist mit dem ersten Drahtende der in der Drehungsrichtung folgenden Spule verbunden, und von der Verbindungsstelle ist ein Zweigdraht nach dem darunter befindlichen Kollektorstabe geführt. Die Drähte sämtlicher Spulen bilden auf diese Weise, wie bei der Gramme-Armatur, einen kontinuierlich fortlaufenden Ring, dessen kontinuierlicher Strom eben so wie in der Gramme-Maschine

aufgesammelt wird. Sind die auf einander folgenden Spulen in entgegengesetzter Richtung bewickelt, so erhält man Wechselströme.

122. Welches sind die bemerkenswertesten Wechselstrommaschinen?

1) Die Grammesche Wechselstrommaschine. Nach der (allerdings bestrittenen) Ansicht, daß mit Wechselströmen im Stromkreise einer elektrischen Beleuchtungsanlage ein stärkeres Licht erhalten werden könne, hat Gramme die beistehend im Längsdurchschnitt (Fig. 212) und in den Querschnitten (Fig. 213 und 214 S. 221) abgebildete Maschine speziell zur Abgabe von Wechselströmen konstruiert:

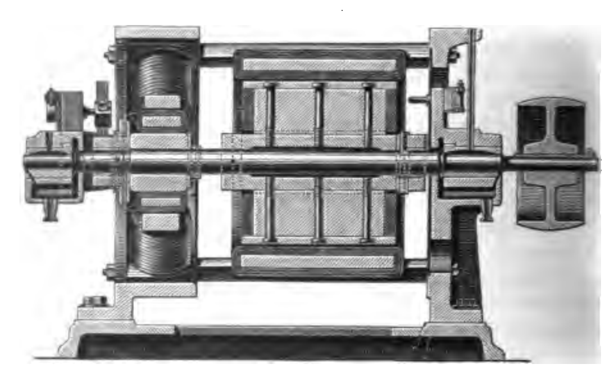


Fig. 212.

dieselbe besteht aus einer gußeisernen Grundplatte, worauf ebenfalls gußeiserne, nahezu kreisrunde verticale Ständer befestigt sind. Diese Ständer sind durch sechs im Querschnitt quadratische Riegel verbunden und mit Lagern für die durchgehende Welle versehen. Der vordere Ständer hat im Innern vier Rippen, woran die Kerne der erregenden Elektromagnete (Fig. 213) befestigt sind. Die Wechselstromspule (Fig. 214) ruht mittels Leisten aus hartem Holze auf den Riegeln; die Leisten aber sind an dem aus Eisendraht gebildeten Kern des Ringinduktors angeleimt. Die rotierenden Elektromagnete bilden einen sechsstrahligen Stern. Auf der Axe sitzt an dem einen Ende (links in Fig. 212) eine kleine Ringarmatur zur Erregung der Elektromagnete und am andern Ende die Armatur, welche den Nutzstrom liefert. Der Strom wird den Elektromgneten der

Hauptmaschine mittels verstellbarer Bürsten aus dem Erregungsinduktor zugeführt.

Um die Magnetisierung der Induktoren und dadurch die Leistung der Maschine regulieren zu können, ist zwischen der Erregungsmaschine und den Elektomagneten ein Kupferdraht als Widerstand angebracht, dessen Länge und Querschnitt sich leicht verändern läßt. Die Bewickelung unterscheidet sich insofern von derjenigen der ältern Maschine, als zwei Drähte zugleich anstatt eines einzigen aufgewickelt sind; hierdurch wird erreicht, daß man für kleinere Kerzen einen Intensitätsstrom, für größere einen Quantitätsstrom erzeugen kann.

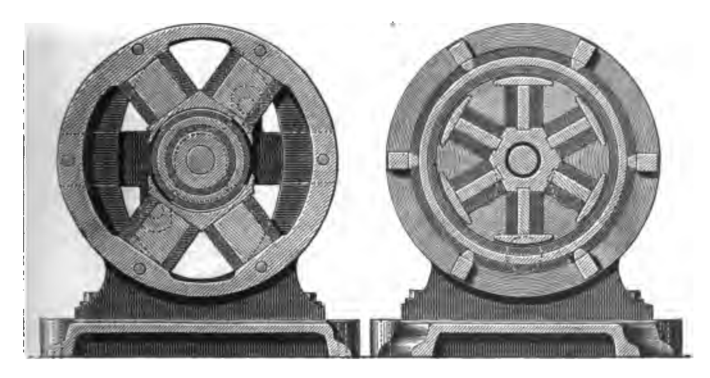


Fig. 213. Fig. 214.

2) Siemens-Halskes Wechselstrommaschine besteht aus einer scheiben- oder radförmigen Armatur, an welcher flache, hohe Drahtspulen ohne Eisenkern in radialer Richtung dicht neben einander sitzen und zwischen den gegenüberstehenden ungleichnamigen und nebeneinander im Polwechsel angeordneten Elektromagneten rotieren, wobei die Anzahl der Elektromagnete gleich der geraden Anzahl der Armaturspulen ist. Bei der Rotation des Armaturrades summiert sich die Wirkung der gegenüberstehenden entgegengesetzten Pole auf die zwischen ihnen hindurchbewegten Drahtspulen. Bei einer Winkeldrehung der Armatur durch die Entfernung zweier Polmitten erregen alle Magnetpole von Mitte zu Mitte denselben Strom in den sämtlichen Spulen; sobald aber die Spulmittelpunkte an der Mitte der Magnetpole vorübergegangen sind, entsteht ein Stromwechsel.

3) **Lontins magnetelektrische Großmaschine** (Fig. 215). Mit der rotierenden Welle ist ein isolierter eiserner Radkranz a (ähnlich der Armatur der auf S. 219 unter Nr. 19 beschriebenen Lontinschen Gleichstrommaschine) fest verbunden, auf dessen äußerm Umfange vierundzwanzig kräftige Elektromagnete A radial sitzen. Die Drahtwindungen dieser Magnete sind mit einander so verbunden, daß sie eine Leitung bilden, von welcher die Enden f ausgehen, welche je mit einem isolierten, auf der Welle sitzenden Kontaktringe verbunden sind, im übrigen ist die Verbindung der Elektromagnete so hergestellt,

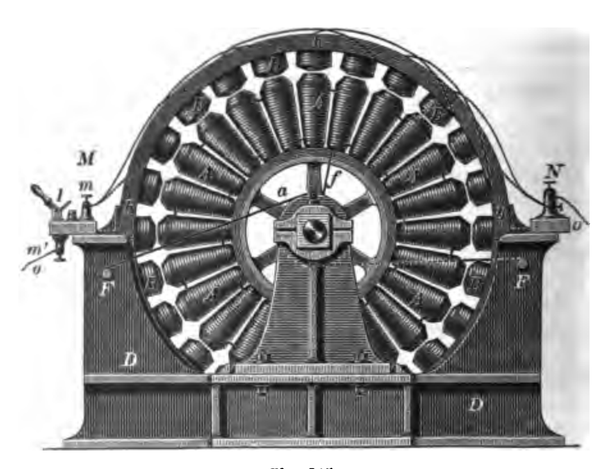


Fig. 215.

daß dieselben Konsequenzpole bilden. Der zur Erregung der Elektromagnete nötige Strom wird von einer kleinern dynamoelektrischen Hülfsmaschine erzeugt, deren Strom durch die Schraubenklemmen FF_1 der Hauptmaschine mittels zweier auf den erwähnten Kontaktringen aufliegenden Federn zugeführt wird. Mit dem Gestell D ist der Armaturkranz C fest verbunden; derselbe besteht aus weichem Eisen und ist mit vierundzwanzig Armaturspulen B versehen, deren Polenden den Magnetpolen möglichst nahe liegen. Die Drahtenden der einzelnen Rollen sind abwechselnd nach entgegengesetzten Seiten der Maschine geführt, die eine Hälfte nach M, die andere nach N, wo sie mit Schraubenklemmen, wie ersichtlich,

rbunden sind. Links ist ein Kontaktschließer I angebracht, der so ele Kontakte enthält, als Ströme, d. i. im vorliegenden Falle 12, liefert werden; jeder einzelne Kontaktschließer hat zwei isolierte Schraubenklemmen m und m', welche durch Taster mit einander erbunden oder von einander getrennt werden können, um so viel Ströme als man will in einem Leitungsdrahte o o zu vereinigen.

4) Die Weston-Maschine für galvanoplastische Zwecke ist n ihrer Anordnung von den auf S. 201 in Fig. 184 und 185 beschriebenen Konstruktionen der Westonschen Lichtmaschine wesentlich verschieden, indem sie der Lontin-Maschine ähnelt. Auf der Welle sitzt eine kleine Scheibe mit sechs kurzen, radial angeordneten Elektromagneten, denen sechs längere, innerhalb einer die Welle umgebenden eisernen Trommel befestigte längere gußeiserne Elektromagnete in ebenfalls radialer Anordnung entsprechen. Die Kerne dieser Elektromagnete sind in der Axenrichtung verlängert, so daß sie einen ovalen Querschnitt haben. Die äußere Trommel ist mit dem Gestell verbunden und unbeweglich, während der innere sechsstrahlige Magnetstern den Induktor bildet. Die Spulen der Armaturmagnete sind nebeneinander zu je zweien vereinigt, so daß drei Paar zweischenkelige Magnete gebildet werden, in deren Spulen bei der Rotation Wechselströme induziert werden, indem dieselben an den abwechselnd ungleichnamigen Polen der hintereinander geschalteten, in einem Stromkreise befindlichen äußeren Magnete vorüberstreichen. Die Wechselströme der Armatur werden durch einen Kommutator in gleiche Richtung gebracht und der gleichgerichtete Strom wird zur Erregung der äußeren Elektromagnete verwendet.

5) Die Jablochkoff-Maschine (Fig. 216 und 217) ist mit besonderer Rücksicht auf Ersparung von Betriebskraft und Erhöhung der Wirkung konstruiert. Die rotierenden Erregungsmagnete sitzen in schraubenartig gewundener Form, acht an der Zahl, auf einer Trommel, die fest mit der rotierenden Welle verbunden und von



Fig. 216.



Fig. 217.

dem fest mit dem Gestell vereinigten Induktorkranze umgeben ist; die Induktionsrollen sind um gerade, plattenförmige Eisenkerne

3) **Lontins magnetelektrische Großmaschine** (Fig. 215). Mit der rotierenden Welle ist ein isolierter eiserner Radkranz a (ähnlich der Armatur der auf S. 219 unter Nr. 19 beschriebenen Lontinschen Gleichstrommaschine) fest verbunden, auf dessen äußerm Umfange vierundzwanzig kräftige Elektromagnete A radial sitzen. Die Drahtwindungen dieser Magnete sind mit einander so verbunden, daß sie eine Leitung bilden, von welcher die Enden f ausgehen, welche je mit einem isolierten, auf der Welle sitzenden Kontaktringe verbunden sind, im übrigen ist die Verbindung der Elektromagnete so hergestellt,

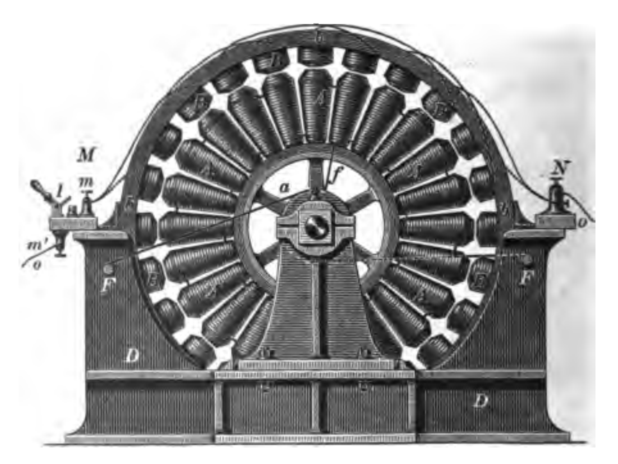


Fig. 215.

daß dieselben Konsequenzpole bilden. Der zur Erregung der Elektromagnete nötige Strom wird von einer kleinern dynamoelektrischen Hülfsmaschine erzeugt, deren Strom durch die Schraubenklemmen FF_1 der Hauptmaschine mittels zweier auf den erwähnten Kontaktringen aufliegenden Federn zugeführt wird. Mit dem Gestell D ist der Armaturkranz C fest verbunden; derselbe besteht aus weichem Eisen und ist mit vierundzwanzig Armaturspulen B versehen, deren Polenden den Magnetpolen möglichst nahe liegen. Die Drahtenden der einzelnen Rollen sind abwechselnd nach entgegengesetzten Seiten der Maschine geführt, die eine Hälfte nach M, die andere nach N, wo sie mit Schraubenklemmen, wie ersichtlich,

verbunden sind. Links ist ein Kontaktschließer I angebracht, der so viele Kontakte enthält, als Ströme, d. i. im vorliegenden Falle 12, geliefert werden; jeder einzelne Kontaktschließer hat zwei isolierte Schraubenklemmen m und m′, welche durch Taster mit einander verbunden oder von einander getrennt werden können, um so viel Ströme als man will in einem Leitungsdrahte o o zu vereinigen.

4) Die Weston-Maschine für galvanoplastische Zwecke ist in ihrer Anordnung von den auf S. 201 in Fig. 184 und 185 beschriebenen Konstruktionen der Westonschen Lichtmaschine wesentlich verschieden, indem sie der Lontin-Maschine ähnelt. Auf der Welle sitzt eine kleine Scheibe mit sechs kurzen, radial angeordneten Elektromagneten, denen sechs längere, innerhalb einer die Welle umgebenden eisernen Trommel befestigte längere gußeiserne Elektromagnete in ebenfalls radialer Anordnung entsprechen. Die Kerne dieser Elektromagnete sind in der Axenrichtung verlängert, so daß sie einen ovalen Querschnitt haben. Die äußere Trommel ist mit dem Gestell verbunden und unbeweglich, während der innere sechsstrahlige Magnetstern den Induktor bildet. Die Spulen der Armaturmagnete sind nebeneinander zu je zweien vereinigt, so daß drei Paar zweischenkelige Magnete gebildet werden, in deren Spulen bei der Rotation Wechselströme induziert werden, indem dieselben an den abwechselnd ungleichnamigen Polen der hintereinander geschalteten, in einem Stromkreise befindlichen äußeren Magnete vorüberstreichen. Die Wechselströme der Armatur werden durch einen Kommutator in gleiche Richtung gebracht und der gleichgerichtete Strom wird zur Erregung der äußeren Elektromagnete verwendet.

5) Die Jablochkoff-Maschine (Fig. 216 und 217) ist mit besonderer Rücksicht auf Ersparung von Betriebskraft und Erhöhung der Wirkung konstruiert. Die rotierenden Erregungsmagnete sitzen in schraubenartig gewundener Form, acht an der Zahl, auf einer Trommel, die fest mit der rotierenden Welle verbunden und von dem fest mit dem Gestell vereinigten Induktorkranze umgeben ist; die Induktionsrollen sind um gerade, plattenförmige Eisenkerne



Fig. 216.



Fig. 217.

gewunden, und in der Längsrichtung der Welle in gleicher Zahl wie die Magnete angeordnet.

6) Die Brush-Maschine, im Grundriß schematisch durch Fig. 218 illustriert, besteht aus zwei mit den gleichnamigen Polen einander gegenüberstehenden hufeisenförmigen sehr kräftigen Elektromagneten mit sehr breit auseinandergezognen Polflächen, zwischen welchen der gußeiserne Armaturring beinahe ohne Spielraum rotiert. Der Induktionsdraht ist in einzelnen, der leichten Aufwindung wegen vollkommen cylindrischen Spulen in entsprechenden Vertiefungen des Ringes aufgewunden. Die zwei diametral gegenüberliegenden Spulen, welche stets der induzierenden Wirkung zweier gegenüberstehender

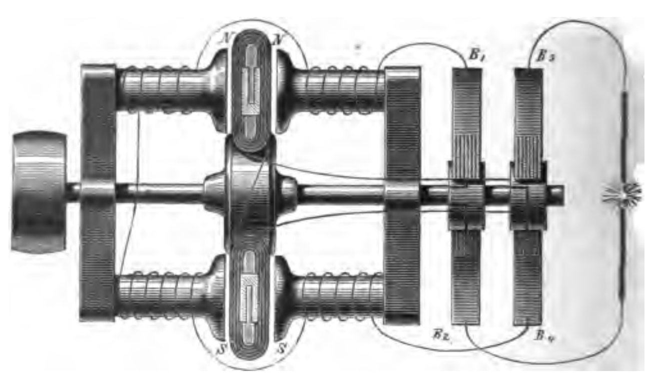


Fig. 218.

gleichartiger Pole unterliegen, sind einerseits unter sich, andrerseits (in Wirklichkeit durch die hohle Welle hindurch) mit je zwei gegenüberliegenden von einander isolierten Ringen des Kommutators verbunden, welcher letztere aus eben so vielen Kupferringen besteht, als Spulenpaare auf dem Armaturringe vorhanden sind, und zwei einander diametral gegenüberliegende Ringe werden von den Kontaktbürsten berührt. Wie aus Fig. 218 ersichtlich ist, besteht jeder Ring des Kommutators aus zwei gegen einander isolierten Segmenten; zwischen diesen beiden Segmenten ist aber noch ein drittes schmales Segment vom Zentriwinkel 45° eingeschoben, welches dem benachbarten Ringe angehört. Die beiden größeren Segmente eines Ringes sind mit je zwei diametral gegenüberliegenden Armaturspulen verbunden und das erwähnte dritte kurze Segment schaltet bei jeder

Umdrehung zweimal jenes mit den größeren Segmenten verbundene Spulenpaar gerade in dem Momente aus, wo dasselbe durch die neutralen Stellen des Magnetfeldes geht; hierdurch wird der innere Widerstand der Maschine bedeutend vermindert, ohne daß an elektromotorischer Kraft verloren geht. Nach jedem Achtel der Umdrehung werden zwei andere Spulen und zwar stets die trägen, die sich an der neutralen Stelle des Magnetfeldes befinden, ausgeschaltet.

In den Induktionsspulen werden Wechselströme erzeugt, dieselben werden aber durch den Kommutator als kontinuierliche Ströme an die Kontaktbürsten abgegeben.

Im ganzen sind, wie schon erwähnt wurde, zwei aus je vier Segmenten bestehende Kommutatoren und vier Kontaktbürsten vorhanden, von denen jede, je nach der Stellung des rotierenden Kommutators, für einen gewissen Teil der Umdrehung ein Segment oder zwei Segmente gleichzeitig berührt. In einem solchen Moment der Umdrehung wird der in zwei diametral gegenüberliegenden Spulen erzeugte Strom von der ersten Bürste B_1 aufgenommen, er durchfließt dann die Windungen der hintereinander geschalteten Elektromagnete, tritt hierauf durch die zweite, diametral der ersten Bürste gegenüberliegende, aber zum andern Kommutator gehörige Bürste B_2 auf deren Kommutator über, durchströmt parallel die mit diesem Kommutator verbundenen beiden Spulenpaare, tritt alsdann durch die dritte Bürste B_3, die zu demselben Kommutator gehört, in den äußern Stromkreis und gelangt schließlich durch die vierte Bürste B_4 wieder in den andern Kommutator und somit zum Ausgangspunkte zurück.

Die Kontaktbürsten sind um die Welle zwischen gewissen Grenzen drehbar eingerichtet, so daß ihre Stellungen gegen die Axen des magnetischen Feldes genau reguliert und die Übergangswiderstände auf ein Minimum gebracht werden können.

Fig. 219 S. 226 zeigt die Brush-Maschine nach ihrer neuesten Konstruktion in perspektivischer Ansicht und Fig. 220 und 221 stellen den Armaturring nebst Kommutator dar.

Die Armatur besteht aus zwei gußeisernen, mit gleichmäßig verteilten sektorartigen Vorsprüngen versehenen Ringen A A (Fig. 220 S. 226), welche fest mit einander verbunden, jedoch durch ein geeignetes Isoliermaterial E von einander getrennt sind. B ist eine ringförmige Nut, die mehrfach vorhanden sein kann und die zur Ventilation der Drahtspulen dient, damit diese sich nicht zu stark erwärmen. C C sind die zur Aufnahme der Drahtwindungs-

sektionen dienenden Vertiefungen und D D sind Löcher, welche nach den Luftzugskanälen B führen.

Fig. 221 läßt die Art der Umwindungen und die Anordnung des Kommutators erkennen; der letztere besteht aus einem nichtleitenden Kerne E, z. B. aus Holz, auf welchem die aus Kupferblech bestehenden Cylindersegmente S befestigt sind. Die Drahtspulen



Fig. 219.

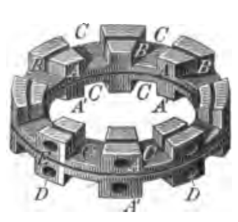


Fig. 220.

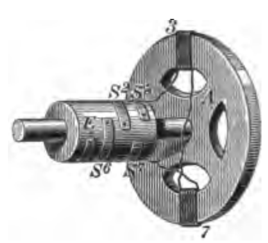


Fig. 221.

der Armatur sind mit den Segmenten des Kommutators derartig verbunden, daß die ersten und letzten Enden von je zwei diametral gegenüberliegenden Drahtsektionen mit einander verbunden und die übrigbleibenden Enden an je zwei entgegengesetzten Segmenten S des Kommutators befestigt sind. Es muß also die Anzahl der Kommutatorsegmente der Anzahl der Drahtsektionen oder Spulen gleich sein. Auf diese Weise giebt die Armatur vier von einander

unabhängige Ströme an die vier Segmente jedes Kommutators ab und diese Ströme wechseln bei dem Übergange der betreffenden Spulen von einem Magnetfelde zum andern ihre Richtung, werden aber durch die beiden Kommutatoren gleichgerichtet. Ferner geht der in je zwei diametral gegenüberliegenden, zu einem Paar verbundenen Spulen induzierte Strom bei jeder Umdrehung einmal durch die Spiralen der Elektromagnete und das andere mal durch den äußern Stromkreis, so daß bei jedem Achtel der Umdrehung sowohl die Elektromagnete als auch der äußere Stromkreis gesonderte gleichgerichtete Ströme zugesendet erhalten.

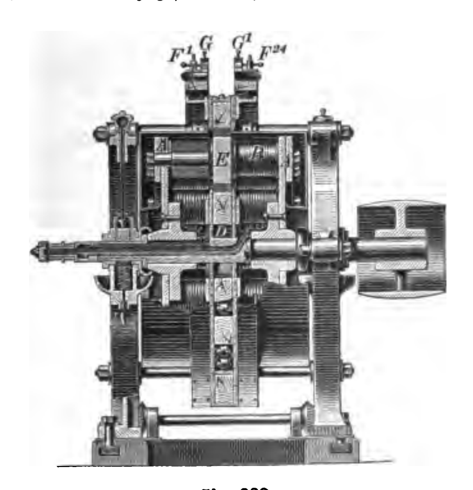


Fig. 222.

Die in Fig. 219 abgebildete sogenannte Sechzehn-Lichtermaschine hat auf jeder der acht Spulen reichlich 9 kg Drahtgewicht bei 275 m Drahtlänge. Der Widerstand der Maschine zwischen den Klemmen beträgt 10.5 Ohm, der Widerstand der vier Elektromagnete 6 Ohm. Bei 770 Touren pro Minute und 15 bis 16 Pferdestärken Betriebskraft speist die Maschine 16 Lampen, jede von etwa 800 Kerzen Leuchtkraft.

7) Die Lachaussée-Maschine (Fig. 222—224) hat eine festliegende Armatur und rotierende Elektromagnete.

Das rotierende Magnetfeld besteht aus zwei gegenüberstehenden Sätzen von Elektromagneten B und jeder Satz wird durch einen Kranz A mit zwölf Stück Magneten B gebildet, die gegenüberliegenden Pole je zweier gegenüberstehender und je zweier nebeneinander befindlicher Elektromagnete wechseln mit einander in ihrer Polarität ab. Zwischen den beiden rotierenden Magnetkränzen befindet sich die fest mit dem Gestell verbundene Armaturtrommel D, deren elliptische Spulen E unabhängig von einander sind, so daß jede für sich leicht aus der Maschine herausgenommen und wieder eingesetzt werden kann. Die flachen Drahtspulen E sitzen in dem Holzringe und haben denselben Durchmesser wie die Elektromagnete und ihre Verteilung korrespondiert mit der Stellung der letzteren.



Fig. 223.

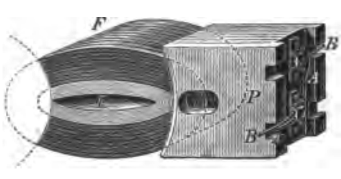


Fig. 224.

Jede Spule (Fig. 224) besteht aus dem um einen Eisenkern L gewundenen isolierten Kupferdrahte F. Der hohle Kern L ist aus einer dünnen Röhre von ovalem Querschnitt gebildet und jede Spule ist in einem vierkantigen Holzklotze P befestigt, welcher durch eine entsprechende Öffnung der festen Induktortrommel vom äußern Umfange aus eingeschoben werden kann. Die freien Enden A A jeder Spule gehen durch den bezüglichen Holzblock hindurch und sind mit kleinen Messingplatten verbunden, von denen die Konduktoren B B ausgehen; die letzteren sind um den Umfang der Induktortrommel nach den oberhalb des Maschinengestells befind-

chen vierundzwanzig Klemmschrauben F^1 bis F^{24} geführt; außer-
em sind noch zwei große Klemmschrauben G und G^1 vorhanden,
velche dazu dienen, die einzelnen Drähte mit einem oder mehreren
Retourdrähten zu verbinden, und somit erlauben, auch während des
Ganges der Maschine die Ströme nach Quantität oder Spannung
u verbinden.

8) Die Gordon-Maschine zeichnet sich durch ihre Größe aus;
dieselbe soll bis 7000 Swansche Glühlampen von je 20 Kerzen
speisen können und eine Stromstärke bis zu 10 000 Ampères ergeben.
Die große Umlaufsgeschwindigkeit der rotierenden, 2.66 m im Durch-
messer haltenden Scheibe beträgt 200 Touren pro Minute. An
dieser Scheibe sitzen beiderseits 32 Elektromagnete; die Induktions-
rollen sind zu je 64 auf jeder Seite an zwei feststehenden Scheiben
angebracht, die Elektromagnete sind parallel geschaltet und werden
durch zwei Crompton-Bürgin-Maschinen erregt. Die Induktions-
spulen bilden in abwechselnder Verbindung zwei Stromkreise, es kann
jedoch auch jede Spule einen besondern Lampenstromkreis speisen.
Bei der Speisung von 1300 Lampen in Greenwich sind die 128
Induktionsspulen in 32 Gruppen zu je 4 parallel und die 4 Spulen
einer Gruppe hintereinander geschaltet.

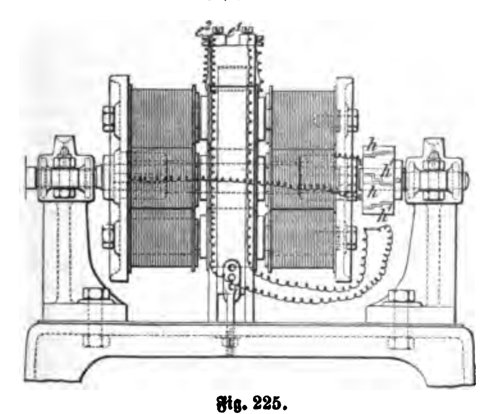


Fig. 225.

9) Die Chertemps-Dandeu-Maschine (Fig. 225 und 226)
ist derartig angeordnet, daß dieselbe ohne eine besondere Vorrichtung
ganz selbstthätig die Stromstärke nach der Anzahl der von ihrem

Stromkreise zu speisenden Lampen reguliert. In ihrer Einrichtung ähnelt diese Maschine sehr der Lachaussée-Maschine (S. 227 f.), indem ihre Armaturspulen feststehen und die Feldmagnete rotieren. Die bezügliche Konstruktion ist aus den Figuren leicht ersichtlich. Die Magnete sind mit abwechselnden Polen neben und gegen einander angeordnet. Die Enddrähte der einzelnen Armaturspulen sind nach dem oberhalb des Gestelles angebrachten Gruppierungstische geführt und mit besonderen Klemmen verbunden, so daß man dieselben während des Betriebes beliebig zusammenschalten oder mit unabhängigen Stromkreisen verbinden kann. Eine der Armaturspulen dient zur Erregung der Feldmagnete, weshalb ihre Wechselströme vorher mittels eines Kommutators in gleiche Richtung gebracht werden.

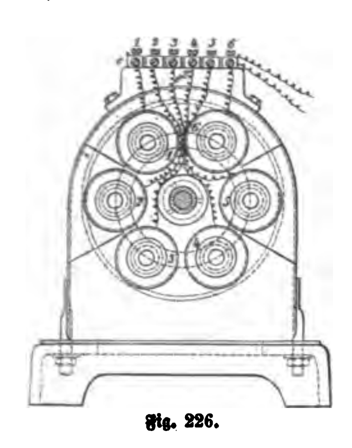


Fig. 226.

Die Selbstregulierung geht in dieser Maschine in der folgenden Weise vor sich:

Wenn die Feldmagnete sich in Bewegung befinden, so übt jeder derselben bei seiner Annäherung an eine der Armaturspulen eine induktive Wirkung auf deren Eisenkern aus, indem er an dem gegenüberstehenden Ende des Kernes einen Gegenpol zu seinem eignen Pole hervorruft und in dessen Drahtwindungen einen Strom erzeugt. Die Richtung dieses Stromes ist derartig, daß dieselbe der Polarisierung des Kernes entgegenwirkt, so daß die magnetische Kraft des Kernes der Spule die Resultante der beiden entgegengesetzten Wirkungen der Armaturspule und des Feldmagnets ist. Gleichzeitig übt die Polarität des Kernes aber auch einen Einfluß auf die Polarität der Feldmagnete aus und auf diese Weise wird der Erregungsstrom in merklicher Weise affiziert und infolgedessen die Intensität des Magnetfeldes vermindert. Dieses wirkt wiederum auf die Erregungsspule und der magnetisierende Strom wird noch weiter reduziert, so daß in entsprechender Weise auch der Strom oder die elektromotorische Kraft im äußern Stromkreise abnimmt. Je stärker nun der Widerstand im äußern Stromkreise ist, d. h. je

mehr Lampen in denselben eingeschaltet sind, desto geringer ist auch die **Stromstärke** in den Armaturspulen und desto stärker ist das **magnetische Feld**, desto stärker also auch die elektromotorische Kraft. **Wenn eine** Lampe im Stromkreise verlischt, so tritt wohl infolge des **nunmehr** stattfindenden kurzen Schlusses dieser Lampe eine **momentane** Verstärkung des Stromes ein, aber der stärkere Strom **wirkt auch** alsdann sofort der Magnetisierung der Kerne entgegen und so **wird** auch wiederum eine Verminderung der Intensität des **Magnetfeldes** hervorgerufen. Dieser Prozeß setzt sich fort, bis schließlich alle Lampen im Stromkreise verlöscht sind und die Maschine mit **kurzem** Schluß arbeitet. Ist die Maschine gehörig proportioniert, so **werden** die Einflüsse der Armatur und der Feldmagnete sich stets **nahezu ausgleichen** und der Erregungsstrom wird also schließlich **nahezu verschwinden**.

10) Die F e r r a n t i - T h o m s o n - M a s c h i n e. In dieser Maschine sind zwei Systeme zu je 16 im Querschnitt sektorförmigen Magneten im Kreise herum an je einer Gußeisenscheibe so angeordnet, daß die Pole sowohl in der Aufeinanderfolge als im Gegenüber abwechseln. Zwischen den Wechsel- oder Konsequenzpolen N S hindurch rotiert eine dünne Scheibe, die mit einem schleifenförmig gebognen, aus mehreren Lagen bestehenden Metallbande versehen ist, wie Fig. 227 schematisch illustriert. Wie ersichtlich haben die radialen Teile dieses Bandes denselben mittlern Abstand wie die Magnetpole. Bei der Rotation dieses Bandes vor einem Pole entstehen in diesen radialen Teilen infolge der Magnetinduktion Ströme von entgegengesetzter Richtung, die sich in dem Bande zu einem Strome vereinigen. Sobald aber ein radialer Streifen von einem Pole zum andern übergeht, so entsteht in dem Bande ein Stromwechsel und infolgedessen werden während der Rotation dieser schleifenförmigen Armatur Wechselströme erzeugt, welche mittels Kollektorbürsten abgeleitet werden können. Bei der Versuchsmaschine war das 36 m lange Kupferband 12.5 mm breit und 2 mm dick und seine Lagen waren durch Kautschukstreifen von einander isoliert. Das Band ist mittels eines Eisenringes, der seitliche Vorsprünge zum Darüberlegen der Schleifen hat, auf der Armaturscheibe befestigt. Der Zwischenraum der einzelnen radialen Bandteile ist

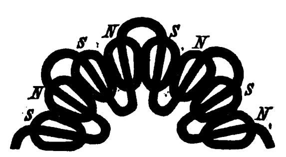


Fig. 227.

also mit Eisen ausgefüllt, wodurch die Induktionswirkung verstärkt werden soll. Die ganze Maschine ist verhältnismäßig klein und leicht. Die für 320 Glühlampen von je 16 Kerzen ausreichende Maschine wog 610 kg. Die Tourenzahl der Armatur betrug 1900. Mit 320 Lampen betrug die Betriebskraft 26 Pferdestärken und der Nutzeffekt etwa 85 Prozent.

123. Welche physikalischen Gesetze gelten für die Wirkungsweise einer Induktionsmaschine?

Die elektromotorische Kraft, d. i. das nach Metern zu messende elektrische Gefälle zwischen den Polklemmen einer Induktionsmaschine, ist proportional der Intensität des Magnetfeldes, proportional der Umfangsgeschwindigkeit der Armatur und proportional der auf die Armatur gewundenen Drahtlänge. Im Beharrungszustande, d. i. bei konstanter Intensität des Magnetfeldes, und bei konstanter Umfangsgeschwindigkeit ist also die elektromotorische Kraft einer solchen Maschine einzig und allein direkt proportional der Umwindungszahl der rotierenden Armatur, und von deren Radius, sowie von der Drahtdicke und dem spezifischen Leitungsvermögen des Drahtes ganz unabhängig.

Was nun das magnetische Moment des Eisenkernes des Elektromagneten betrifft, so läßt sich dasselbe durch die Formel ausdrücken:

$$M = k \frac{n E}{R + R_1},$$

worin E die erregende elektromotorische Kraft, n die Umwindungszahl, R_1 den Widerstand der Magnetspirale und R den Widerstand im übrigen Teile des Stromkreises bezeichnen, während k den spezifischen Widerstand der Drahtspirale bezeichnet. M wird im Maximum, wenn der Widerstand der Magnetisierungsspirale sich zu dem Widerstande im übrigen Stromkreise eben so verhält, wie der Durchmesser des nackten Drahtes zum Durchmesser des übersponnenen Drahtes. Bei einem Elektromagneten, welcher in einen Stromkreis von großem Widerstande eingeschaltet ist, wird diese Bedingung dadurch erfüllt, daß man die Spiralen aus langem dünnen Drahte herstellt, während man bei geringem Widerstande kurzen dicken Draht wählt.

Bezeichnet man mit x den Durchmesser des übersponnenen Drahtes, mit x—a den Durchmesser des nackten Drahtes, mit k den spezifischen Widerstand des Drahtes (für geglühtes Kupfer ist k pro 1 kcm = 1.62), mit y die Drahtlänge einer Spirale, mit V das Volumen, welches die Spirale um den Kern des Elektro-

magnetes einnimmt, und mit R den Widerstand im Stromkreise, so gelten die beiden Gleichungen:

$$x\,(x-a)\,3 = \frac{4\;k\;R}{T_1\;V} \text{ und } y\,x^2 = V,$$

woraus sich für einen gegebenen Wert von c und R Drahtdicke und Drahtlänge berechnen lassen.

Die Stromstärke irgend einer Induktionsmaschine ist direkt proportional der Umdrehungszahl und indirekt proportional dem Widerstande, welcher sich dem Strome in dem Drahte der Armatur und respective der Elektromagnete, sowie im äußern Stromkreise entgegensetzt. Je größer der Widerstand in der Drahtbewickelung der Maschine ist, um so stärker wächst auch die Temperaturerhöhung in diesen Drähten, und durch diese Temperaturerhöhung wird das Maximum der Tourenzahl, folglich auch das Maximum der Stromstärke für eine gegebene Maschine festgestellt.

Nach Joule ist (wie Deprez auseinandersetzt) die von einem elektrischen Strome entwickelte Wärmemenge $Q = J^2\,R$, d. h. sie ist proportional dem Quadrate der Stromstärke und einfach proportional dem Widerstande. Wird die ganze Stromarbeit $E\,J$ zur Wärmeerzeugung verwendet, so ist die verbrauchte Arbeit gleich der entwickelten Gesamtwärme $Q = E\,J = J^2 R = E^2 : R$ oder $E = J\,R$, entsprechend dem Ohmschen Gesetze für den Fall, daß keine negative elektromotorische Kraft e vorhanden ist, welche einen Teil der positiven elektromotorischen Kraft aufhebt. Es ist dann auch für irgend eine Teilstrecke des Stromkreises, auf welcher der Widerstand r und die Potentialdifferenz zwischen Anfangs- und Endpunkt e ist, die entwickelte Wärmemenge $q = e\,J = r\,J^2 = e^2 : r$, indem die Stromstärke J in jedem Punkte des Stromkreises dieselbe Größe hat.

Das Verhältnis der lokalen zur Gesamtwärme ist:

$$q : Q = \frac{e^2}{r} : \frac{E^2}{R} = e\,J : E\,J = e : E = r : R$$

und stellt den Wirkungsgrad a der Maschine dar, welcher um so größer ausfällt, je größer der lokale Widerstand r gegen den Gesamtwiderstand R ist. Wenn bei sehr langer Leitung der Gesamtwiderstand beliebig größer als R ist, so wächst die elektromotorische Kraft im Verhältnis $\sqrt{R'} : \sqrt{R}$ und der Wirkungsgrad bleibt derselbe, jedoch ist dabei zu bedenken, daß die elektromotorische Kraft eine bestimmte Grenze nicht überschreiten darf, weil man die Leitung nicht absolut isolieren kann.

Fünfter Abschnitt.

Von der elektrischen Beleuchtung.

Einundzwanzigstes Kapitel.

Über die elektrische Beleuchtung im allgemeinen.

124. Unter welchen Formen können die elektrischen Lichterscheinungen zu Beleuchtungszwecken benutzt werden?

Für intensive Lichtquellen eignet sich der Voltasche Bogen, für mildere Beleuchtung das Glühlicht. Der Voltasche Bogen entsteht, wenn in den Stromkreis eines genügend starken Elektromotors zwei Stücke künstlicher homogener Hartkohle, gewöhnlich in der Form dünner cylindrischer Stifte, eingeschaltet und anfangs mit ihren Enden in Berührung gebracht, dann aber bis auf eine gewisse kleine Distanz von einander entfernt werden. Infolge des starken Widerstandes, welchen der elektrische Strom bei seinem Übergange von dem einen Kohlenstifte zum andern überwinden muß, werden die Spitzen der Stifte in Weißglut versetzt und der Stromübergang erfolgt durch einen leuchtenden, aus flüchtigen Bestandteilen und festen Kohlenpartikeln bestehenden Bogen.

125. Welche eigentümlichen Erscheinungen sind bei der Herstellung des Voltaschen Bogens beobachtet worden?

Die Flamme des Voltaschen Bogens besteht, wie alle Flammen, aus mehreren verschiedenartigen Teilen, welche wahrscheinlich auch verschiedenartige Temperatur haben. Nach genauen Messungen ist die Temperatur der negativen Kohlenspitze mindestens gleich 2500 Grad C. und diejenige der positiven Kohlenspitze mindestens gleich 3200 Grad C. anzunehmen. Der wenig leuchtende flüchtige Bogen

ist blau, aber von einer rötlichen Flamme eingehüllt, wodurch die Färbung häufig violett erscheint. Diese rötliche Flamme verlängert sich zuweilen bedeutend und bedeckt die positive Kohle bis auf beträchtliche Entfernung; sie ist veränderlich und beweglich und ist zumteil Ursache von den Veränderungen der Lichtintensität. Zuweilen verschwindet die rötliche Flamme ganz und alsdann tritt die blaue Färbung des Bogens deutlicher hervor. Wenn der Strom sehr stark ist, so erscheint zuerst ein kurzer zischender Bogen und um die negative Kohle herum tritt eine purpurrote Flamme auf. Ist alsdann der Bogen hergestellt, so sieht man ein blaues schmales Band an der leuchtenden Oberfläche der positiven und eine rote Strahlenkrone um die negative Kohle, während der mittlere Teil des Bogens weiß ist.

Wird das Licht durch einen konstanten Strom erzeugt, so nehmen die einander gegenüberstehenden Kohlenspitzen die in Fig. 229 S. 236 illustrierte Form an. Der positive Kohlenstift a ist hierbei stumpf konisch und am Ende konkav ausgehöhlt, während der negative Kohlenstift ein stumpf konisches abgerundetes Ende hat. Diese Formen treten um so regelmäßiger und schärfer hervor, je homogener die Kohlen sind. Infolge der Aushöhlung des positiven Kohlenendes bildet sich hier eine kleine Sonne, welche etwa zweidrittel des Lichtes nach unten strahlt, was für die gewöhnlichen Zwecke der Beleuchtung nur vorteilhaft ist.

Die konischen Seitenflächen der Kohlenstifte bedecken sich dabei mit kleinen glasartigen Tropfen von geschmolzener schlackenartiger Masse, die aus Kieselsäure und anderen unverbrennlichen Beimischungen der Kohle besteht, und die Abnutzung ist am positiven Kohlenstifte etwa doppelt so groß als am negativen. Um die bei gleichem Querschnitte hierdurch hervorgerufene ungleichmäßige Abnutzung der Kohlenstifte zu verhüten, giebt man zuweilen dem positiven Stifte einen doppelt so großen Querschnitt als dem negativen und erhält dadurch zugleich ein intensives Licht. Wird der Voltasche Bogen durch Wechselströme erzeugt, so fällt diese ungleichmäßige Abnutzung der Kohlenstifte von selbst weg, indem deren Polarität fortwährend wechselt. Im allgemeinen geben dünnere Kohlenstifte ein intensiveres Licht als dicke, da aber mit der Verminderung des Querschnittes die Abnutzung sich steigert, so müssen für gleiche Leistung dünnere Stifte öfter erneuert werden als dicke, was natürlich wiederum Unbequemlichkeiten mit sich führt. Die Form, welche die Kohlenstiftenden unter der Wirkung von Wechsel-

Fünfter Abschnitt.

Von der elektrischen Beleuchtung.

Einundzwanzigstes Kapitel.

Über die elektrische Beleuchtung im allgemeinen.

124. Unter welchen Formen können die elektrischen Lichterscheinungen zu Beleuchtungszwecken benutzt werden?

Für intensive Lichtquellen eignet sich der Voltasche Bogen, für mildere Beleuchtung das Glühlicht. Der Voltasche Bogen entsteht, wenn in den Stromkreis eines genügend starken Elektromotors zwei Stücke künstlicher homogener Hartkohle, gewöhnlich in der Form dünner cylindrischer Stifte, eingeschaltet und anfangs mit ihren Enden in Berührung gebracht, dann aber bis auf eine gewisse kleine Distanz von einander entfernt werden. Infolge des starken Widerstandes, welchen der elektrische Strom bei seinem Übergange von dem einen Kohlenstifte zum andern überwinden muß, werden die Spitzen der Stifte in Weißglut versetzt und der Stromübergang erfolgt durch einen leuchtenden, aus flüchtigen Bestandteilen und festen Kohlenpartikeln bestehenden Bogen.

125. Welche eigentümlichen Erscheinungen sind bei der Herstellung des Voltaschen Bogens beobachtet worden?

Die Flamme des Voltaschen Bogens besteht, wie alle Flammen, aus mehreren verschiedenartigen Teilen, welche wahrscheinlich auch verschiedenartige Temperatur haben. Nach genauen Messungen ist die Temperatur der negativen Kohlenspitze mindestens gleich 2500 Grad C. und diejenige der positiven Kohlenspitze mindestens gleich 3200 Grad C. anzunehmen. Der wenig leuchtende flüchtige Bogen

ist blau, aber von einer rötlichen Flamme eingehüllt, wodurch die Färbung häufig violett erscheint. Diese rötliche Flamme verlängert sich zuweilen bedeutend und bedeckt die positive Kohle bis auf beträchtliche Entfernung; sie ist veränderlich und beweglich und ist zumteil Ursache von den Veränderungen der Lichtintensität. Zuweilen verschwindet die rötliche Flamme ganz und alsdann tritt die blaue Färbung des Bogens deutlicher hervor. Wenn der Strom sehr stark ist, so erscheint zuerst ein kurzer zischender Bogen und um die negative Kohle herum tritt eine purpurrote Flamme auf. Ist alsdann der Bogen hergestellt, so sieht man ein blaues schmales Band an der leuchtenden Oberfläche der positiven und eine rote Strahlenkrone um die negative Kohle, während der mittlere Teil des Bogens weiß ist.

Wird das Licht durch einen konstanten Strom erzeugt, so nehmen die einander gegenüberstehenden Kohlenspitzen die in Fig. 229 S. 236 illustrierte Form an. Der positive Kohlenstift a ist hierbei stumpf konisch und am Ende konkav ausgehöhlt, während der negative Kohlenstift ein stumpf konisches abgerundetes Ende hat. Diese Formen treten um so regelmäßiger und schärfer hervor, je homogener die Kohlen sind. Infolge der Aushöhlung des positiven Kohlenendes bildet sich hier eine kleine Sonne, welche etwa zweidrittel des Lichtes nach unten strahlt, was für die gewöhnlichen Zwecke der Beleuchtung nur vorteilhaft ist.

Die konischen Seitenflächen der Kohlenstifte bedecken sich dabei mit kleinen glasartigen Tropfen von geschmolzener schlackenartiger Masse, die aus Kieselsäure und anderen unverbrennlichen Beimischungen der Kohle besteht, und die Abnutzung ist am positiven Kohlenstifte etwa doppelt so groß als am negativen. Um die bei gleichem Querschnitte hierdurch hervorgerufene ungleichmäßige Abnutzung der Kohlenstifte zu verhüten, giebt man zuweilen dem positiven Stifte einen doppelt so großen Querschnitt als dem negativen und erhält dadurch zugleich ein intensives Licht. Wird der Voltasche Bogen durch Wechselströme erzeugt, so fällt diese ungleichmäßige Abnutzung der Kohlenstifte von selbst weg, indem deren Polarität fortwährend wechselt. Im allgemeinen geben dünnere Kohlenstifte ein intensiveres Licht als dicke, da aber mit der Verminderung des Querschnittes die Abnutzung sich steigert, so müssen für gleiche Leistung dünnere Stifte öfter erneuert werden als dicke, was natürlich wiederum Unbequemlichkeiten mit sich führt. Die Form, welche die Kohlenstiftenden unter der Wirkung von Wechsel-

strömen annehmen, illustriert Fig. 228. Soll das Licht hauptsächlich seitlich in einer bestimmten Richtung strahlen, wie dies z. B. für Leuchtturmslichter erwünscht ist, so werden zweckmäßig die Kohlenstäbchen nicht mit ihren Axen in eine verticale Linie gestellt, sondern es wird das untere, negative Stäbchen b derartig verschoben, daß seine Axe die Seite des positiven Stäbchens tangiert; unter Voraussetzung der Lichterzeugung mit konstantem Strome erfolgt alsdann der Abbrand der Kohlenenden in der durch Fig. 230 illustrierten Form. Übrigens werden die Kohlenstäbchen zur Lichterzeugung mittels des Voltabogens nicht nur vertical über einander, sondern auch in horizontaler oder schräger Stellung gegen einander, oder auch parallel neben einander angeordnet. Anstatt der Stabform

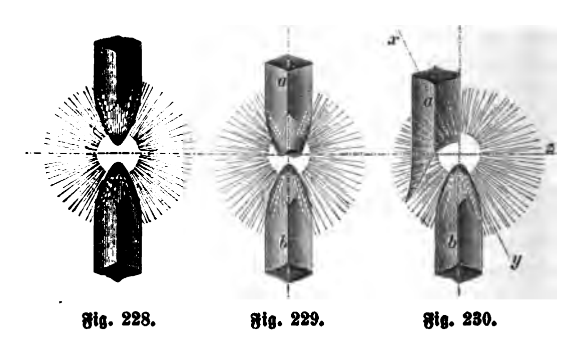


Fig. 228. Fig. 229. Fig. 230.

hat man den Lichtkohlen auch eine plattenförmige Gestalt gegeben und dieselben mit parallelen Kanten einander in geringer Entfernung gegenübergestellt, wodurch der stets die nächstliegenden Punkte zum Überströmen aufsuchende Lichtbogen veranlaßt wird, zwischen den beiden Plattenkanten hin und her zu laufen. Ferner hat man auch die beiden Kohlen als runde dünne Scheiben geformt und dieselben so gegen einander angeordnet, daß sie bei fortwährender Umdrehung um ihre Axen an einer Stelle mit ihren Rändern einander nahe genug kommen, um den Lichtbogen zu erzeugen.

126. Hat man das elektrische Licht für Beleuchtungszwecke auch noch auf andere Weise als durch den Voltabogen erzeugt?

Durch die sogenannte Kontaktinkandeszenz (Berührungsglühlicht) und Inkandeszenz (Glühlicht). Im erstern Falle

ist die obere, positive Kohle plattenförmig und die untere, negative stabförmig, wobei die letztere mit ihrer Spitze die obere berührt, wodurch an der Berührungsstelle infolge des Stromüberganges ohne den großen Widerstand, der beim Überströmen des Voltabogens durch den Raum zwischen beiden Kohlen überwunden werden muß, ein Erglühen der beiden Kohlen eintritt. Bei Inkandeszenz- oder Glühlichterzeugung wird der Strom durch einen dünnen Draht aus harter, besonders zubereiteter Kohle geleitet und dadurch dieser zum Erglühen gebracht. Um das Verbrennen dieses Kohlendrahtes zu verhüten, ist derselbe in ein luftleeres oder in ein mit einem indifferenten Gase, z. B. Stickstoff, gefülltes Glasgehäuse eingeschlossen.

127. Welche Vorteile bietet das elektrische Licht gegenüber der Gasbeleuchtung?

Die Vorteile sind folgende:

1) Die Wärme, welche die Erzeugung des elektrischen Lichtes begleitet, ist zwar sehr intensiv, aber ihre Quantität ist so gering, daß dieselbe in der nächsten Umgebung schon verschwindet, so daß das elektrische Licht keine Erwärmung in geschlossenen Räumen herbeiführt, die sich bei der Gasbeleuchtung häufig in sehr unliebsamer Weise bemerklich macht.

2) Der Voltasche Bogen produziert nur eine verschwindend kleine Menge Kohlensäure, während das Gaslicht dieselbe in großer Menge erzeugt und daneben auch andere schädliche Verunreinigungen der Luft herbeiführt.

3) Das elektrische Licht läßt die Farben in demselben Aussehen erscheinen, wie das Sonnenlicht, auch besitzt dasselbe hinsichtlich der bei der Photographie zur Verwendung kommenden chemischen Wirkung denselben Charakter wie das Sonnenlicht.

4) Sir William Thomson ist der Meinung, daß durch Anwendung der elektrischen Beleuchtung die Akustik von Konzertsälen und Theatern besser zur Wirkung komme als bei Gasbeleuchtung, indem das elektrische Licht infolge seiner verschwindend kleinen Wärmeausstrahlung den Luftraum nicht beeinflusse, während das stark wärmeausstrahlende Gaslicht lokale Luftströmungen erzeuge.

5) Besondern Wert hat die elektrische Beleuchtung für Theater, indem dadurch die Feuersgefahr auf ein Minimum reduziert und bei sorgfältiger Anlage und Überwachung so gut wie ausgeschlossen ist, während bei Gaslicht auch die sorgfältigste Überwachung nicht ausreichend ist, um jede Gefahr zu verhüten. Eine größere Anzahl

von Theatern hat schon die elektrische Beleuchtung eingeführt und betreffs der vorteilhaften Anwendung für diesen Zweck den Beweis geliefert.

6) Was endlich die Kosten der Lichterzeugung anbelangt, so hat sich vielfach herausgestellt, daß das elektrische Licht sich wohlfeiler oder doch nicht teurer als das Gaslicht erzeugen lasse.

Als Beleg dafür, daß das elektrische Licht unter Umständen sich bedeutend billiger erzeugen läßt, als Gaslicht, führen wir hier nach den Untersuchungen eines zu dem Zwecke besonders zusammenberufenen englischen Comités hervorragender Sachkenner die folgenden Thatsachen an: Nach den Erfahrungen, die im Kensington-Museum zu London gemacht wurden, konnten mit einer Gasmenge, welche zur Beleuchtung direkt in üblichen Brennern verbrannt wurde, eine Lichtstärke von 300 Kerzen produziert werden, während man, wenn dieselbe Gasmenge in einer Gasmaschine zum Betrieb elektrischer Beleuchtungsapparate verbrannt wurde, eine Lichtstärke von 5000 Kerzen erhielt. Der Grund davon liegt darin, daß bei der direkten Lichterzeugung durch Gasverbrennung nur etwa $^1/_{300}$ der im Gas enthaltenen Energie in Licht, die anderen 299 Teile aber in Wärme umgewandelt werden. Ein glühendes Gas enthält überhaupt etwa 90 Proz. Strahlen, welche auf das Auge in keiner Weise einwirken; mit Bezug auf das Leuchtgas ist aber dieses Mißverhältnis noch viel größer.

Zweiundzwanzigstes Kapitel.

Das Voltabogenlicht.

128. Wie lassen sich die Apparate zur Erzeugung des Voltabogenlichtes nach ihrer Wirkungsweise und Einrichtung klassifizieren?

Nach der Wirkungsweise und Beleuchtungsart kann man zuerst zwei Hauptklassen von Voltabogenlampen unterscheiden: Einzellichtlampen und Teillichtlampen.

Die Einzellichtlampen werden in ihrer Lichterzeugung durch die Stromstärke im Schließungskreise reguliert und üben eine Rückwirkung auf diese Stromstärke aus, so daß sie gewissermaßen als Stromregulatoren funktionieren und daher zwei oder mehr in

denselben Stromkreis eingeschaltete Lampen dieser Art sich in einer die gleichmäßige Lichterzeugung total störenden Weise gegenseitig beeinflussen.

Die Teillichtlampen sind so eingerichtet und in den Stromkreis in einer solchen Weise eingeschaltet, daß sie durch ihre inneren Widerstandsveränderungen die Stromstärke in der Gesamtleitung nicht beeinflussen und daher ihre in einen Stromkreis einzuschaltende Zahl nur von ihrem Arbeitskonsum und der durch den Stromkreis transmittierten Arbeitsmenge abhängig ist. Je nach ihrer Einrichtung und der dadurch bedingten Wirkungsweise, so wie der nebenbei dadurch ermöglichten Einschaltungsweise in den Stromkreis lassen sich diese Lampen einteilen in Nebenschlußlampen, Differentiallampen, Parallelstromlampen und Kontaktstoßlampen.

1) Die Nebenschlußlampen beruhen auf der Erfahrung, daß die auf Annäherung der Kohlenspitzen wirkende elektromagnetische Spirale in einer Abzweigung des Hauptstromes liegt und einen so starken Widerstand bietet, daß ihre magnetische Anziehungskraft erst durch Auslösung des zur Annäherung der Kohlen dienenden Mechanismus zur Wirkung kommt, wenn durch die Entfernung der Kohlenspitzen einer Lampe der direkt durch dieselben geführte Hauptstrom, infolge des in der Hauptleitung stärker gewordenen Widerstandes, gezwungen ist, seinen Weg so zu sagen um die Lampe herum, durch den Zweigstrom (Nebenschluß), zu nehmen, wodurch die magnetische Kraft zur Wirkung kommt, durch welche die Annäherung der Kohlenspitzen bewirkt und dadurch der Widerstand im Hauptstromkreise wiederum vermindert wird. Da hierbei nach dem Kirchhoffschen Gesetze (vergl. S. 40) die Summe der Stromstärken in den Stromzweigen stets gleich ist der in dieselben ein- und von denselben abgeführten Stromstärke, vorausgesetzt, daß die Stromleitung in allen Zweigen ohne größere Umsetzung in Wärme stattfindet als im vollen Querschnitt des Hauptstromkreises, so bleibt bei diesem Stromleitungsprozeß die Stromstärke unverändert.

2) Die Differentiallampen beruhen im wesentlichen darauf, daß anstatt der Gewichts- oder Federkraft, durch welche in den Nebenschlußlampen der Kraftäußerung des Magnetismus entgegengewirkt wird, um die für Erzeugung des Lichtbogens normale Entfernung der Kohlenspitzen zu erhalten, noch eine zweite, in einen Zweigstrom eingeschaltete elektromotorische Drahtspirale an-

gewendet wird, wobei die Differentialwirkung durch den verschiedenen Widerstand dieser Spiralen erfolgt, deren Spiel ein mit dem einen Kohlenhalter verbundener Eisenkern unterliegt.

3) Die Parallelstromlampen, welche in gleichkräftige Zweige der Stromleitung eingeschaltet werden, sind so eingerichtet, daß der auf die Entfernung der Kohlenspitzen wirkende Magnet nicht die Auslösung eines besondern, die Annäherungskraft der Kohlenspitzen wieder freimachenden Mechanismus erfordert, sondern daß derselbe, so lange die Stromstärke eine gewisse Grenze überschreitet, durch direkte Einwirkung auf den einen Kohlenhalter die Kohlenspitzen so aus einander hält, daß der Lichtbogen dem Strome einen gewissen Widerstand entgegensetzt. Hierdurch wird erreicht, daß jede der durch den einen Zweigstrom gespeisten Lampen regulierend auf jede von einem der anderen Zweigströme gespeisten Lampen einwirkt, so daß alle zusammen sich in konstanter Lichtwirkung erhalten.

4) Die Kontaktstoßlampen sind so eingerichtet, daß in kurz auf einander folgenden Intervallen die obere Kohle durch freies Herabfallen momentan mit der untern in Berührung kommt, indem sie sofort wieder durch die vom vollen Strom erregte Einwirkung eines Elektromagnets gehoben und der normale Lichtbogen hergestellt wird. Indem die Kontakte der verschiedenen in einen Stromkreis eingeschalteten Lampen successive erfolgen, wird bewirkt, daß jede Lampe zur Bildung ihres Lichtbogens die ausreichende Stromkraft erhält. Durch die Schnelligkeit des Kontaktstoßes wird das damit verbundene Blinklicht wenig auffällig.

Dreiundzwanzigstes Kapitel.

Die Einzellichtbogenlampen.

129. Welches sind die wichtigsten Konstruktionen für Einzellichtlampen oder sogenannte Regulatoren?

1) Die Foucault-Duboscq-Lampe (Fig. 231). Beide Kohlenhalter A und B sind mit einer Zahnstange verbunden, welche auf den entgegengesetzten Seiten einer Welle in darauf sitzende Zahnräder eingreifen, deren Durchmesser sich wie 1:2 verhalten und welche in die mit einem Federhause E verbundenen Zahnräder

ingreifen, so daß die Kohlenspitzen im Verhältnis ihres Abbrandes,). h. die positive doppelt so rasch als die negative, vorgeschoben verden, um deren Distanz dem Abbrande entsprechend zu :egulieren und die Lichtquelle in derselben Höhe zu erhalten. F_2 ist ein zweites Federhaus, welches mit einem vielfachen Räderſystem kombiniert ist, das in die Getriebe von zwei entgegengesetzt liegenden Windfängen g und g′ eingreift. S ist ein Planetenrad, welches mit den beiden Rädersystemen so in Eingriff steht, daß es gleichzeitig das eine freiläßt, während es das andere hemmt. Unter dem Rädermechanismus befindet sich ein isolierter Elektromagnet m mit dem um a oszillierenden Anker l, dessen freier Arm durch einen zweiten, um d drehbaren Hebel c mit rundlicher Auflagfläche zur Verschiebung des Angriffspunktes mittels einer Feder e niedergezogen und dadurch der Anker l gehoben wird, sobald die Anziehungskraft des Magnets m unter die Stärke der Federkraft sinkt. Infolge der abgerundeten Angriffsfläche des Hebels c erfolgen die Bewegungen des Ankers ohne Stoß. Mit dem Ankerhebel ist der Arm af verbunden, der oberhalb beiderseits eine Nase hat, womit er je nach seiner Stellung die Rotation des einen oder andern Windfanges g oder g′ hemmt und somit das mit dem Federhause F_2 verbundene Räderwerk veranlaßt, sich rechts oder links umzudrehen, wodurch die Kohlenspitzen einander genähert oder von einander entfernt werden. Der positive Strom tritt durch die Polklemme P_1 in den Elektromagnet ein und erregt denselben um so mehr, je größer die Stromstärke ist. Je nach dem Grade der magnetischen Anziehung wird der Anker b dem Magnetpol genähert und dadurch erfolgt die beschriebene Einwirkung auf das Räderwerk und auf die Kohlenstäbchen, so daß letztere bei wachsender Stromstärke sich von einander entfernen und bei abnehmender Stromstärke sich einander nähern müssen.

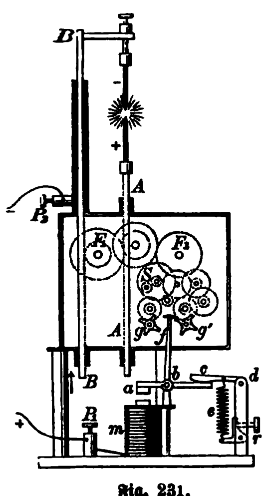


Fig. 231.

Eingriff steht, und durch das Gewicht dieses Halters wird das Räderwerk in Umdrehung versetzt, sobald dasselbe nicht anderweitig gehemmt wird.

Infolge des Übersetzungsverhältnisses des Räderwerks wird bei einer Umdrehung des Bremsrades d der Kohlenhalter um 0,1 mm gehoben. Wenn kein Strom durch die Lampe geht, senkt sich die obere Kohle so weit herab, daß sie die untere berührt, deren Hinaufgehen durch den Ring g gehemmt ist. Der in die Lampe geleitete Strom geht durch den Elektromagnet m und das Lampen-

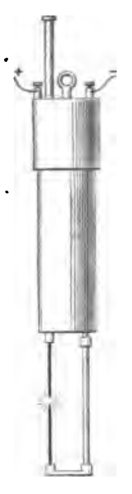




Fig. 233 a.

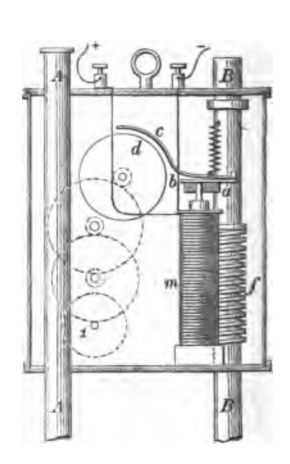


Fig. 233 b.

metall in die obere Kohle und tritt von dieser in die untere, deren Halter von der Lampe isoliert ist, worauf er wieder in den äußern Stromkreis übergeht. Durch den erregten Magnet m wird der Anker a angezogen und bei ausreichender Stromstärke die Kraft der Feder f überwunden. Hierdurch werden beide Kohlenspitzen auseinandergerückt und der Lichtbogen wird gebildet. Sobald durch Abbrand der Kohlen der Strom geschwächt wird, kommt die Feder f wieder zur Wirkung und es tritt folglich von neuem eine Annäherung der Kohlenspitzen ein und so weiter. Die Lampe brennt fünf

Stunden lang, jedoch kann diese Zeit durch Einschaltung einer Röhre und gehörige Verlängerung der Kohlenstäbe bis auf acht Stunden ausgedehnt werden, wobei der Widerstand der Kohlenstäbe während der ganzen Brennzeit konstant bleibt, indem die Stromzuführung sich am untern Rohrende befindet. Auf diese Weise kann die Lampe unter allen Umständen mit einem Strome von geringer Spannung gespeist werden. Es läßt sich diese Lampe auch gut für Laternen verwenden.

5) Die Jaspar-Lampe (Fig. 234 und 235 S. 246) von Jaspar in Lüttich zeichnet sich durch Einfachheit in der Konstruktion aus, indem sie keine Zahnräder und Zahnstangen hat, wobei die beiden Kohlenhalter A und B mittels Ketten oder Schnüre an zwei auf einer Welle sitzenden Rollen, deren Durchmesser sich wie 1 : 2 verhalten, aufgehängt sind. Bei einer Drehung der Rollen durch das Gewicht des positiven Kohlenhalters A sucht derselbe, infolge seiner eben beschriebenen Verbindungsweise mit dem negativen Kohlenhalter B, diesen zu heben, dabei erfolgt aber das Sinken des positiven Kohlenhalters doppelt so rasch als das Steigen des negativen, wie dies vom Verhältnis des Abbrandes beider Kohlen verlangt wird, um die Lichtquelle in gleicher Höhe zu erhalten. Das untere Ende der eisernen Rohre des negativen Kohlenhalters B steckt in einer elektromagnetischen Drahtspirale (Solenoid) S, welche mit in den Stromkreis eingeschaltet ist. Der Strom tritt in den vom Gestell isolierten positiven Halter A durch die Klemme P_1 ein, welche mit einem Quecksilberrohr K in Verbindung steht, in welches die mit dem Kohlenhalter A verbundene Stange L eintaucht und somit den Strom nach der positiven, obern Kohle führt und deren stoßweise Bewegung verhütet. Von da geht der Strom in den negativen Halter B und in das Solenoid S über, worauf er durch die negative Klemme P_2 wieder in den äußern Stromkreis eintritt. Das Gewicht des positiven Kohlenhalters wird durch den mit einer Schnur an die kleine Rolle 3 angehängten Hebel h, der mit dem von außen mittels einer Schraube verschiebbaren Gewichte G belastet ist, ausbalanciert. Um jede stoßende Bewegung des negativen Kohlenhalters zu verhüten und einen vollständigen Kontakt der Leitung mit dem untern Kohlenhalter herzustellen, ist mit B ein kleiner Kolben verbunden, der mit etwas Spielraum in dem mit dem Gestell leitend verbundenen und mit Quecksilber gefüllten Cylinder C spielt. Das Rohr des negativen Kohlenhalters B ist seitlich mit einem Schlitz versehen, so daß die Rolle 2 in dasselbe

Eingriff steht, und durch das Gewicht dieses Halters wird das Räderwerk in Umdrehung versetzt, sobald dasselbe nicht anderweitig gehemmt wird.

Infolge des Übersetzungsverhältnisses des Räderwerks wird bei einer Umdrehung des Bremsrades d der Kohlenhalter um 0.1 mm gehoben. Wenn kein Strom durch die Lampe geht, senkt sich die obere Kohle so weit herab, daß sie die untere berührt, deren Hinaufgehen durch den Ring g gehemmt ist. Der in die Lampe geleitete Strom geht durch den Elektromagnet m und das Lampen-

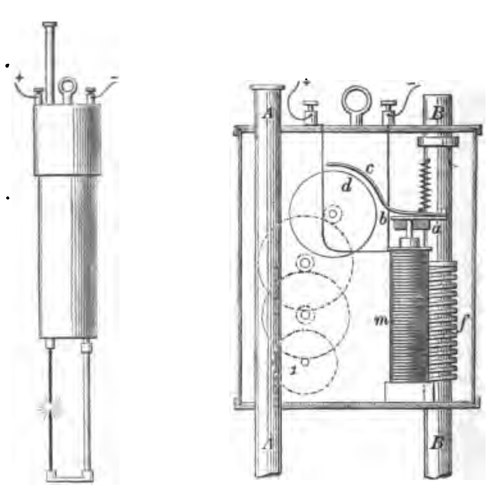


Fig. 233 a. Fig. 233 b.

metall in die obere Kohle und tritt von dieser in die untere, deren Halter von der Lampe isoliert ist, worauf er wieder in den äußern Stromkreis übergeht. Durch den erregten Magnet m wird der Anker a angezogen und bei ausreichender Stromstärke die Kraft der Feder f überwunden. Hierdurch werden beide Kohlenspitzen auseinandergerückt und der Lichtbogen wird gebildet. Sobald durch Abbrand der Kohlen der Strom geschwächt wird, kommt die Feder f wieder zur Wirkung und es tritt folglich von neuem eine Annäherung der Kohlenspitzen ein und so weiter. Die Lampe brennt fünf

Stunden lang, jedoch kann diese Zeit durch Einschaltung einer Röhre und gehörige Verlängerung der Kohlenstäbe bis auf acht Stunden ausgedehnt werden, wobei der Widerstand der Kohlenstäbe während der ganzen Brennzeit konstant bleibt, indem die Stromzuführung sich am untern Rohrende befindet. Auf diese Weise kann die Lampe unter allen Umständen mit einem Strome von geringer Spannung gespeist werden. Es läßt sich diese Lampe auch gut für Laternen verwenden.

5) Die Jaspar-Lampe (Fig. 234 und 235 S. 246) von Jaspar in Lüttich zeichnet sich durch Einfachheit in der Konstruktion aus, indem sie keine Zahnräder und Zahnstangen hat, wobei die beiden Kohlenhalter A und B mittels Ketten oder Schnüre an zwei auf einer Welle sitzenden Rollen, deren Durchmesser sich wie 1 : 2 verhalten, aufgehängt sind. Bei einer Drehung der Rollen durch das Gewicht des positiven Kohlenhalters A sucht derselbe, infolge seiner eben beschriebenen Verbindungsweise mit dem negativen Kohlenhalter B, diesen zu heben, dabei erfolgt aber das Sinken des positiven Kohlenhalters doppelt so rasch als das Steigen des negativen, wie dies vom Verhältnis des Abbrandes beider Kohlen verlangt wird, um die Lichtquelle in gleicher Höhe zu erhalten. Das untere Ende der eisernen Rohre des negativen Kohlenhalters B steckt in einer elektromagnetischen Drahtspirale (Solenoid) S, welche mit in den Stromkreis eingeschaltet ist. Der Strom tritt in den vom Gestell isolierten positiven Halter A durch die Klemme P_1 ein, welche mit einem Quecksilberrohr K in Verbindung steht, in welches die mit dem Kohlenhalter A verbundene Stange L eintaucht und somit den Strom nach der positiven, obern Kohle führt und deren stoßweise Bewegung verhütet. Von da geht der Strom in den negativen Halter B und in das Solenoid S über, worauf er durch die negative Klemme P_2 wieder in den äußern Stromkreis eintritt. Das Gewicht des positiven Kohlenhalters wird durch den mit einer Schnur an die kleine Rolle 3 angehängten Hebel h, der mit dem von außen mittels einer Schraube verschiebbaren Gewichte G belastet ist, ausbalanciert. Um jede stoßende Bewegung des negativen Kohlenhalters zu verhüten und einen vollständigen Kontakt der Leitung mit dem untern Kohlenhalter herzustellen, ist mit B ein kleiner Kolben verbunden, der mit etwas Spielraum in dem mit dem Gestell leitend verbundenen und mit Quecksilber gefüllten Cylinder C spielt. Das Rohr des negativen Kohlenhalters B ist seitlich mit einem Schlitz versehen, so daß die Rolle 2 in dasselbe

eintreten und die Schnur axial mit dem Halter verbunden werden kann. An dieser Schnur hängt außerdem noch das Gewicht g, welches die Schnur gespannt hält und gleichzeitig die variable Wirkung des Solenoids kompensiert.

Eigentümlich ist noch bei dem Jasparschen Beleuchtungssystem die Verteilung des Lichts durch Reflektoren und Linsen, wodurch die Vorteile des Einzellichts (geringerer Kraftverbrauch und leichtere Isolation der Leitung im Vergleich zu Teillichtern) mit der passenden

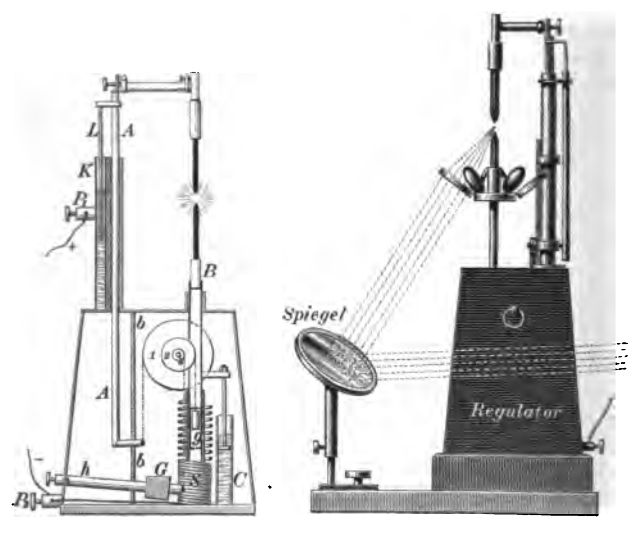


Fig. 234. Fig. 235.

Lichtverteilung vereinigt werden. Zu dem Zweck versieht Jaspar seine Lampen entweder mit reflektierenden Schirmen oder mit einem verstellbaren Kranze von Kronglaslinsen und Reflektorspiegeln (Fig. 235). In Belgien hat dieses Beleuchtungssystem in industriellen Etablissements bereits eine sehr ausgedehnte Anwendung gefunden.

6) Die Krupp-Lampe (System Dornfeld) ähnelt der Jaspar-Lampe, nur ist anstatt der im [illegible] ...hre spielenden Kolben-

bremse ein mittels Zahnradvorgelege betriebener Windfang angebracht und ferner sitzt auf der Schnurradwelle noch eine Bremsscheibe, gegen welche mittels eines Hebels, woran der Eisenkern des Solenoids hängt, bei der Stromwirkung ein Bremsklotz sich anlegt, der bei der weitern Bewegung des Hebels das Bremsrad und folglich auch die Schnurrollen zur Drehung zwingt und dadurch ein Auseinanderrücken der Kohlenspitzen herbeiführt.

7) Die Bürgin-Lampe (Fig. 236) besitzt zwei Elektromagnete m m, deren Pole dem mit der Parallelführung o c b o verbundenen und ebenfalls mit einer elektromagnetischen Spirale umwundenen Anker a a gegenüberliegen. Der positive Kohlenhalter A hängt an einer Kette oder Schnur, welche über die am Gestell befestigte Rolle r hinweg nach der Rolle p geht, welche mit dem Bremsrade d auf einer am Anker eingelagerten Welle sitzt. Auf das Bremsrad drückt eine Feder f und hemmt dessen Drehung so lange, als der Anker a a sich nicht in seiner tiefsten Stellung befindet, denn in dieser ist das Bremsrad mit dem Anker herabgesunken und von der Feder frei; sobald aber der Anker sich wieder hebt, preßt derselbe das Rad gegen die Feder und die Bremsung findet statt. Der positive Strom tritt durch die Klemme P_1 ein, verzweigt sich nach dem Elektromagnet und dem Anker, deren Umwindungen so angeordnet sind, daß ihre gegenüberliegenden Pole ungleichnamig werden. Beide Zweige vereinigen sich wieder in dem obern Kohlenhalter, der vom Gestell isoliert ist, gehen dann durch die Kohlen in den untern Halter und von da in das Gestell durch die negative Klemme P_2 hinaus. Diese innere Stromleitung ist in der Figur schematisch angedeutet, um alles möglichst deutlich darzustellen.

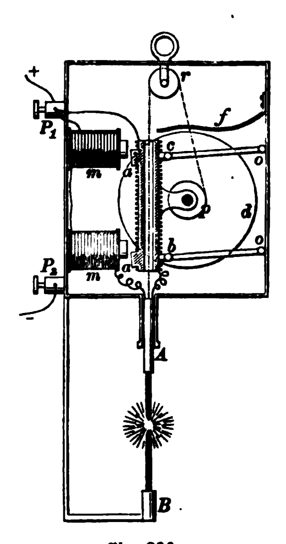


Fig. 236.

8) Die Chance-Lampe (Fig. 237 und 238) ist für den Betrieb mit Gleichstrom bestimmt, und da die Bewegung der Kohlen proportional zu ihrem Abbrand reguliert wird, so ist die Stellung des Bogens fest. Fig. 237 zeigt die Lampe im Verticaldurchschnitt. Die beiden Kohlenstäbe a und b sind in den Haltern c und d befestigt, welche zwei Rahmen mit je zwei aufrecht stehenden Stangen bilden. An den oberen Enden der beiden Stangen des untern Kohlenhalters sind zwei Rollen e e angebracht, um welche die Schnur f geht, von welcher das eine Ende am obern Gestell g der Lampe befestigt ist. Das andre Ende jeder Schnur geht um die Rollen h h und ist mit dem Oberteil des Rahmens d des obern Kohlenhalters verbunden. Auf diesem Rahmen ist ein mit Schrot belastetes Gewicht x angebracht und zur Führung des Rahmens dienen die Stangen i i. Das Gewicht x bildet die Mutter für die Kontrollschraube j, die seitlich befestigt ist, aber sich frei auf Zapfen an ihren Enden bewegen kann; einer dieser Zapfen dreht sich in einem Lager an der Oberplatte g und der andre in einem Lager auf der untern Plattform k. Das Gewicht x sucht die obere Kohle durch Drehung der Schraube herabzubewegen und infolge der Anordnung der Schnüre die untere Kohle in einem Verhältnis zu heben, welches von der Größe des Scheibendurchmessers e abhängig ist, so daß auf diese Weise der Kontakt der Kohlen angestrebt wird. Die beiden Plattformen g und k, welche durch vier Führungsstangen i verbunden sind, bilden das feste Gestell der Lampe. Auf der untern Plattform dieses Gestells befinden sich zwei Platten l, welche die Drahtspule m tragen, in der ein hohler Kern sich frei bewegen kann. Der obere Teil o dieses Kerns besteht aus Kupfer und dessen Länge steht im

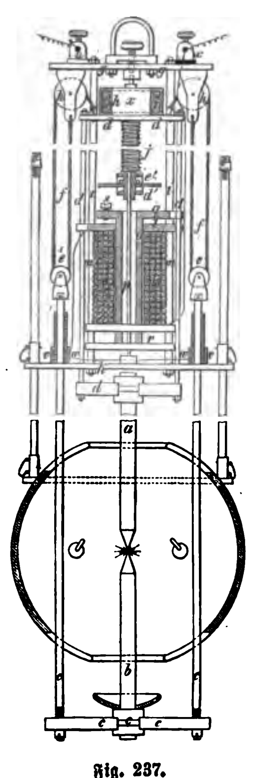


Fig. 237.

Verhältnis zur erwünschten Magnetintensität. Vom untern Ende der Schraube j geht eine kupferne Stange p durch die Axe des Kerns herab. Das Gewicht des Spulenkerns läßt sich durch Federn mehr oder minder neutralisieren. Die Spule m ist in den Hauptstrom eingeschaltet und bildet das regulierende Organ der Lampe. Um diesen Zweck zu erfüllen trägt die Spule oben und unten Querstücke q r, welche durch die vier Stangen i geführt werden und mit ihr steigen und fallen. Eine Regulierschraube s im obern Stück q, welche mit der obern Platte der Spule m in Berührung kommt, dient zur Regulierung der Stellung des Kerns in der Spule und zur Einstellung der Hemmungsräder, welche die Bewegung aufhalten. Eine zweite Regulierschraube am andern Ende desselben Stückes begrenzt die Trennung der Kohlen und folglich auch die Länge des Bogens.

Die Wirkungsweise der Lampe ist folgende: Wenn die Kohlen im Kontakt sind, so geht der mittels der Klemme u nach der Lampe geführte Strom durch den Rahmen des obern Kohlenhalters und die Kohlen in die beiden Stangen des untern Kohlenhalters, die von den übrigen Teilen der Lampe isoliert, aber durch das untere Querstück c leitend verbunden sind. Diese Stangen gleiten leicht in den Hülsen v, welche durch den Draht w elektrisch verbunden sind und mit dem einen Ende des Drahtes der Spule m kommunizieren. Das andere Ende des Spulendrahtes steht mit der zweiten Klemme x (rechts auf der obern Plattform) in Verbindung, wo der Strom, nachdem er die Spule durchflossen, wieder aus der Lampe heraustritt. Wenn der Strom durch die Spule m geht, so wird der Kern o plötzlich gehoben und die Entfernung zwischen den Kohlen in der folgenden Weise fixiert:

Der untere Teil des Kerns o n trägt einen Arm g (Fig. 238 S. 250), mit welchem die Stange z verbunden ist, deren Länge mittels einer Verschraubung ihrer beiden Teile reguliert werden kann. Das obere Ende der Stange z greift an den Arm a′ eines am Gestell sitzenden Winkelhobels an, dessen zweiter Arm b′ eine gekrümmte Führung bildet, in welche ein Finger eingreift, der an dem am untern verlängerten Ende p der Schraube j sitzenden Gestell d′ eingreift. An der Stange p sitzt das lose im Gestell d′ montierte Zahnrad e′ fest. Dieses Rad dreht sich demnach mit der Schraube j und greift dabei in ein Getriebe ein, welches auf einem Zapfen im Gestell sitzt. Die Spindel g′ des Getriebes trägt eine im Grundriß dargestellte Hemmung, welche mit der Feder h′ in Berührung kommt

oder sich davon entfernt, jenachdem die Kohlen sich einander nähern oder von einander entfernen. Durch ihre besondere Form vermag diese Hemmung als Bremse oder Anschlag zu wirken. Im Moment des Anzündens wird der Kern plötzlich gehoben und nimmt dabei die Stange z mit, welche den Winkelhebel a′ b′ dreht, so daß dessen gekrümmtes Ende das Gestell d′ verschiebt und das Hemmungsrad gegen die Feder h′ zieht, so daß diese Feder mit ihrem Ende in die Vertiefungen dieses Rades eintritt und dasselbe, sowie das damit fest verbundene Getriebe f an der durch das Rad e′ angestrebten Drehung hindert. Dadurch wird das stets in das Rad e′ eingreifende Getriebe durch seine Bewegung mit dem Gestell d′ veranlaßt, sich entgegengesetzt zu seiner normalen Drehung zu bewegen, und da das Rad e′ fest an der Schraube j sitzt, so dreht sich die letztere ebenfalls rückwärts und hebt das Gewicht x samt dem obern Kohlenhalter, während gleichzeitig der untere Kohlenhalter um die gleiche Weglänge gesenkt wird. Wenn der Bogen hergestellt ist, so wird die magnetische Intensität der Spule im Verhältnis zu der verbrauchten Kohlenlänge reduziert, der Kern strebt niederwärts und das Hemmungsrad wird von der Feder h′ zurückgezogen, bis es frei wird und den Kohlen gestattet, sich wieder auf ihre normale Entfernung einander zu nähern. Diese Operation wiederholt sich fort und fort und die regelmäßige Wirkung des Apparates ist gesichert, bis die Kohlen ganz verbraucht sind oder die Lampe erlischt. Die auf der Pariser Ausstellung mit dieser Lampe erhaltnen Resultate sollen sehr befriedigend sein.

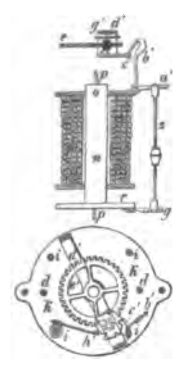


Fig. 238.

130. Zu welchem Zwecke werden die sogenannten Nebenlampen benutzt und wie ist deren Einrichtung?

Die Nebenlampen haben Licht zu liefern, wenn zufällig durch unreine Kohle der Lichtbogen erlischt; dieselben sind derartig in den Stromkreis eingeschaltet, daß bei normalem Lichtbogen der Hauptlampe der Strom zwar durch den Fuß der Nebenlampe hindurchgeht, jedoch ohne dieselbe in Wirksamkeit zu setzen, indem er auf kürzerem Wege (kurzem Schluß) nach der Hauptlampe gelangen kann. Wird aber durch Erlöschen der Kohlen in der Hauptlampe die Strom=

leitung durch dieselbe unterbrochen, so findet der Strom auf einem Umwege durch die elektromagnetische Spirale der Nebenlampe seinen Fortlauf im Stromkreise und bewirkt infolge der Erregung eines in der Nebenlampe angebrachten, auf den einen Kohlenhalter wirkenden Magnets die Außerkontaktsetzung von deren Kohlenspitzen und demzufolge die Bildung des Nebenlichtbogens, welcher nunmehr anstatt des Hauptlichtbogens in der Beleuchtung funktioniert.

Vierundzwanzigstes Kapitel.

Die Teillichtbogenlampen.

131. Welches sind die wichtigsten Konstruktionen der Nebenschlußlampen?

1) Die Serrin-Lontin-Lampe (Fig. 239 S. 252) ist von dem Amerikaner Lontin durch einige Modifikationen aus der Serrinschen Einzellichtlampe (Fig. 232 auf S. 242) als Teillichtlampe hergestellt worden. Der durch die Klemme P_1 in die Lampe eintretende Strom verzweigt einesteils nach den Kohlen, andernteils nach dem Elektromagnet m, worauf beide Zweige in der Austrittsklemme P^2 sich wieder vereinigen. Sind zuerst bei Eintritt des Stromes die Kohlen außer Kontakt, so geht der ganze Strom nach dem Elektromagnet, welcher seinen unterhalb befindlichen Anker anzieht, dadurch die Balance o c d o hebt, den Sperrzahn n ausrückt und das Räderwerk für den Antrieb durch das Gewicht des obern Kohlenhalters A freigiebt. Hierdurch sinkt der obere Kohlenhalter, während gleichzeitig der untere steigt, und zwar erfolgt die Bewegung im Verhältnis 2 : 1, und die Kohlenspitzen gehen zusammen. Sobald ihr Kontakt eingetreten ist, verzweigt sich der Strom zum größten Teil durch die Kohlen und der geschwächte Elektromagnet giebt seinen Anker frei; hiedurch sinkt die Balance mit dem untern Kohlenhalter, der Sperrzahn n hemmt die Bewegung des Räderwerks und damit auch die des obern Kohlenhalters, die Kohlen gehen aus einander und erzeugen den Lichtbogen. Sobald durch den Abbrand die Distanz der Kohlenspitzen zu weit und damit der Widerstand für den Strom zu groß wird, findet dieser wieder seinen Hauptweg durch den Elektromagnet, dieser zieht den Anker an und das anfängliche Spiel wiederholt sich.

2) Die Crompton-Lampe (vergl. Fig. 233a und 233b) und
3) die Bürgin-Lampe (vergl. Fig. 236) lassen sich in ähnlicher Weise durch Stromverzweigung in Nebenschlußlampen umwandeln.

4) Die Fontaine-Lampe (Fig. 240) hat keinen festen Fokus und ist daher nur für die Beleuchtung großer Plätze und Räume

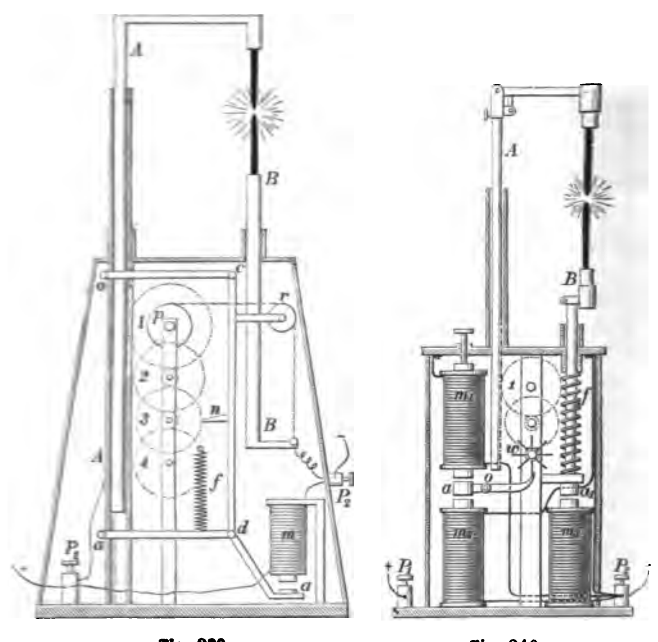


Fig. 239. Fig. 240.

geeignet; ihr Regulierungsmechanismus besteht aus drei Elektromagneten m_1, m_2, m_3 nebst einem zwischen den Polen von m_1 und m_2 oszillierenden Anker a und einem Räderwerke nebst Gesperre, sowie einer auf den Anker wirkenden Spiralfeder f. Der durch die positive Klemme P_1 eintretende Strom wird in drei Zweige nach den drei Elektromagneten verteilt, wobei die Zweige durch m_2 und m_3 nach den Kohlenhaltern gehen. Der Anker a_1 des Magneten m_3

[i]st mit dem untern Kohlenhalter B fest verbunden und wird durch [d]ie Feder f durch Hebung dieses Halters vom Magnetpole entfernt-[g]ehalten. Wird m_3 magnetisch, so wird der Anker a_1 angezogen [u]nd die untere negative Kohle abwärtsgerückt, wobei die Feder f [a]uf das Räderwerk mit einwirkt und den obern, positiven Kohlenhalter A in die Höhe rückt; dies geschieht, wenn die Kohlen sich in Kontakt befinden und zu Anfang der Lichtbogen erzeugt wird.

Der Anker a oszilliert um die Axe o und ist am freien Ende mit einem Sperrzahne versehen, welcher hemmend in den Windfang w eingreift, wenn die Anziehung des Poles von m_2 überwiegt. Die untere Kohle hat nur die zur anfänglichen Bildung des Lichtbogens dienende kleine Bewegung, bleibt aber dann während des Betriebs der Lampe feststehen, so daß infolge von deren Abbrand der Fokus allmählich sich senkt.

Beim anfänglichen Eintritt des Stromes, wenn die Kohlen noch außer Berührung sind, geht der Hauptstrom durch m_1 und durch das Gestell nach P_2, weil der Widerstand von m_2 größer ist; folglich zieht m_1 den Anker a an und löst das Gesperre aus, so daß das Räderwerk frei wird und der obere Kohlenhalter sich bis zur Berührung der Kohlen senken kann. In dem Moment, wo diese Berührung stattfindet, teilt sich der Strom nach m_3, die Anziehung von m_2 überwiegt die von m_1, der Anker a wird daher von m_2 angezogen und hemmt wiederum das Räderwerk; gleichzeitig zieht auch m_3 den Anker a_1 an und der untere Kohlenhalter senkt sich um so viel, daß der Lichtbogen sich bilden kann. Mittels der Schraube s läßt sich die Entfernung des Magnets m_1 vom Anker a entsprechend der Stromstärke regulieren; übrigens kann auch bei dieser Lampe die Stromstärke innerhalb gewisser Grenzen ohne sehr merkliche Beeinflussung des Lichtbogens variieren, so daß sich mehrere Lampen in einen Stromkreis hintereinander einschalten lassen.

5) Die Mersanne-Lampe (Fig. 241 S. 254) von de Mersanne in Paris hat horizontal gerichtete Kohlen, welche durch Uhrwerke betrieben werden und so lang sind, daß die Lampe 36 Stunden Brennzeit hat. Der Betrieb erfolgt durch die im Gehäuse x befindliche Uhrfeder. Durch das Federhaus wird die darunter befindliche horizontale Welle in Umdrehung versetzt und diese treibt wiederum mittels Kegelräder die beiden verticalen Wellen der beiden Führungsmechanismen in den Kohlenhaltern; die Führung der Kohlen erfolgt dabei durch kleine Friktionswalzen, deren Druck durch Federn reguliert wird. Das Uhrwerk wird durch den Elektro-

magnet m_1 [illegible], dessen Anker sich gegen die Schraube s legt. Da dieser Magnet in einem Zweigstrome liegt, so wirkt er nur, wenn dem Hauptstrome ein größerer Widerstand als der des normalen Lichtbogens sich in den Weg stellt. Kommen die Kohlen mit einander in Berührung, oder haben dieselben nur ihre normale Distanz, so zieht der in den Hauptstrom eingeschaltete Elektromagnet m seinen Anker an und wirkt dadurch auf die mit dem einen Kohlenhalter verbundene Stange t, durch welche der pendelnd



Fig. 241.

angehängte Halter zurückgeschoben und dadurch eine Entfernung der Kohlen bewirkt wird.

6. Die Gramme-Lampe (Fig. 242) hat einen in den Hauptstrom eingeschalteten Magnet m und einen im Zweigstrom befindlichen Magnet m_1 von größerem Widerstande. Der erstere wirkt auf den isoliert im Gehäuse der Lampe verschiebbaren und an den Federn f f' angehängten Rahmen b b des untern Kohlenhalters B, indem er denselben durch Anziehung des obern Rahmenquerstückes c

:runterschiebt; letzterer wirkt auf einen oszillierenden Hebel h, der
it dem Anker a und einer gegen den Windfang w sich legenden
Stange i verbunden ist. Läßt der Magnet m_1 den Anker a frei,
o wird derselbe durch die Feder g gehoben und der Windflügel
nit dem Räderwerke, folglich auch der durch Zahnstange damit
erbundene obere Kohlenhalter A gehemmt. Zieht der Magnet m_1
en Anker a an, so wird das Räderwerk,
zugleich aber auch der Kontakt u v am Hebel-
ende aufgehoben und der Anker sofort wieder
frei, so daß der Ankerhebel den Windfang
immer nur um einen Flügel weiter gehen
läßt, wodurch eine sehr genaue Einstellung
der Kohlen erfolgt. Sobald die Kohlen zur
Berührung kommen, geht der Hauptteil des
Stromes durch m und der Rahmen des
untern Kohlenhalters wird durch Anziehung
von c herabgerückt, so daß die Kohlen in
Lichtbogenweite sich einstellen.

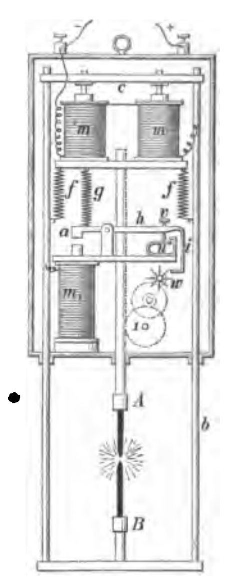


Fig. 242.

Obschon mittels der beschriebenen Neben-
schlußlampen die Einschaltung mehrerer
Lampen in einen Stromkreis ermöglicht wird,
läßt die Regulierung mit Bezug auf Gleich-
förmigkeit des Lichtes doch noch zu wünschen
übrig, indem die Anziehungskraft der Elektro-
magnete sich mit der Stromstärke verändert.
Diesem Übelstande wird durch die folgenden
Lampen mehr oder minder abgeholfen.

7) Die Weston-Lampe (Fig. 243—245
S. 256 f.) zeichnet sich durch ihr stetiges Licht
vorteilhaft aus. Die bessere Regulierung
derselben ist durch Anwendung des bei m
sichtbaren Differentialmagnets erreicht, dessen
Einrichtung Fig. 243 im Detail illustriert, während Fig. 244 den
vergrößerten Mechanismus der Lampe darstellt. Der obere Kohlen-
halter A geht frei durch den Hebel h hindurch, so lange dieser
nicht vom Anker a gehoben wird. Dieser Anker ist durch zwei
Blattfedern f f mit dem Gestell verbunden und wird vom Magnet m
vertical emporgezogen, sobald der Strom durch die Lampe fließt,
wobei der Hebel h den Kohlenhalter A festklemmt und mit empor-
nimmt. Durch die regulierbare Feder g wird der Anker a nach

[illegible] gezogen und dadurch die Einwirkung des Magnets auf das [illegible] Maß gebracht. Um jede stoßweise Bewegung des Kohlenhalters zu verhindern, ist eine kleine mit Glycerin gefüllte Kolbenbremse K mit dem Anker a verbunden.

Bei P_1 (Fig. 243) tritt der Strom ein und teilt sich in zwei Zweige, von denen der eine durch den dicken Draht des Elektromagnets (Fig. 245), von da durch den obern und den untern Kohlenhalter und durch die Gestellstange b′ nach der Austrittsklemme P_2 geht. Der andere Zweigstrom findet seinen Weg durch den feinen Draht des Elektromagneten und schwächt eventuell dessen Anziehungskraft, worauf er ebenfalls seine Richtung nach der Austrittsklemme P_2 einschlägt. Nimmt die Bogenlänge

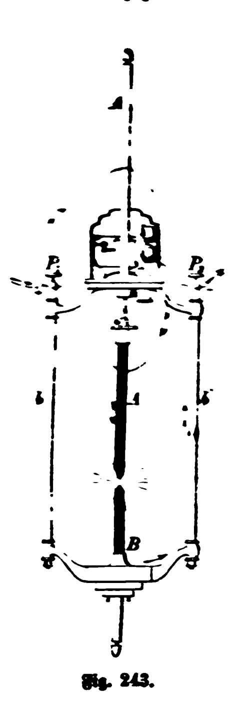


Fig. 243.

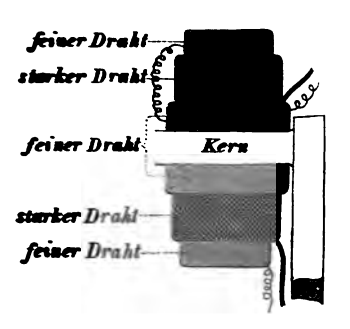


Fig. 244.

und demzufolge der Widerstand im ersten Stromzweige zu, so kommt der zweite Stromzweig verhältnismäßig mehr zur Geltung und vermindert die Kraft des Magnets, so daß der Anker a niedergeht und den obern Kohlenhalter etwas heruntersinken läßt. Wenn sich alsdann der Widerstand im Hauptstromkreise wieder verkleinert, so wird der Anker wieder gehoben, und so fort.

8) **Die Brush-Lampe** (Fig. 246—248 S. 258 und 259) **mit einem** in den Stromkreis eingeschalteten Solenoid versehen, **lches durch** Anziehung seines Kernes auf die Hebung des obern **hlenhalters** und damit auf die Vergrößerung der Distanz zwischen **n Kohlenspitzen** hinwirkt. Da das Gewicht des Solenoidkerns **ır bei einer** bestimmten Stromstärke gehoben wird, so erfolgt die **egulierung** der Lampe nach der Stromstärke und der Lichtbogen **leibt nur** dann kon**ant, wenn** die elektro**ıotorische** Kraft sich **ıicht ändert.**

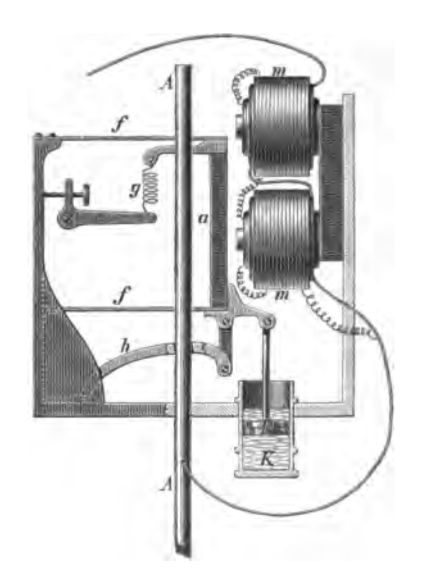


Fig. 245.

In der schematischen **Skizze** (Fig. 246) ist S **das** mit einem **feinen, hohen** Wider**stand bietenden,** und in entgegengesetzter Richtung auch noch mit einem starken Draht umwundene Solenoid (Differentialspule). Der starke Draht geht nach dem obern Kohlenhalter A, der feine Draht nach dem Elektromagnet m, welchen er umwindet. In gleicher Richtung ist dieser Elektromagnet auch noch mit einem starken Drahte umwunden, mit welchem der dünne leitend verbunden ist und der nach dem untern Kohlenhalter B führt; das andere Ende dieses starken Drahtes endet in ein Kontaktstück b, das mit dem Kontakte c des Ankerhebels h in Berührung kommt, sobald der Anker a vom Magnet m angezogen wird. Von der Hauptleitung zweigt sich ein Draht ab, der durch die Feder f mit dem Hebel h in Verbindung steht; diese Feder zieht den Anker vom Magnet zurück, wenn dessen Anziehungskraft nachläßt. Der Eisenkern e des Solenoids ist mit einem Arme verbunden, dessen gegabeltes

Ende eine Klemmscheibe d umfaßt. Bei horizontaler Lage dieser Scheibe kann der obere Kohlenhalter A frei hindurch gleiten und durch sein Gewicht sich senken; wird aber die Scheibe beim Anziehen des Solenoidkernes schiefgestellt, so klemmt dieselbe sich am Kohlenhalter A fest und hebt denselben etwas empor oder verhindert wenigstens dessen Senkung. So lange sich die Widerstände in der Haupt- und Nebenschließung nicht ändern, d. h. so lange der Abstand der Kohlen konstant bleibt und der normalen Bogenlänge entspricht, hat die Nebenschließung nur eine beständige Abschwächung des Solenoids zur Folge, deren Wirkung gleichbedeutend mit einer Gewichtsvermehrung des Eisenkerns e ist. So lange sich der Abstand der Kohlen nicht ändert und also auch der Widerstand im Hauptstromkreise konstant eine gewisse Stärke beibehält, bleibt auch die Stromverteilung in beiden Stromzweigen dieselbe und die Anziehungskraft des Solenoids unterliegt keiner Veränderung. Wird aber der Lichtbogen infolge der Verringerung des Kohlenabstandes kürzer, so nimmt der Hauptwiderstand in der Lampe ab und es geht demnach ein größerer Stromteil durch die Hauptleitung, hingegen wird der Strom in der Nebenschließung schwächer. Die Anziehungskraft des Solenoids nimmt daher zu, dessen Eisenkern wird kräftiger angezogen und der obere Kohlenhalter gehoben, wodurch der Lichtbogen und der Widerstand auf die normale Größe zurückgeführt wird.

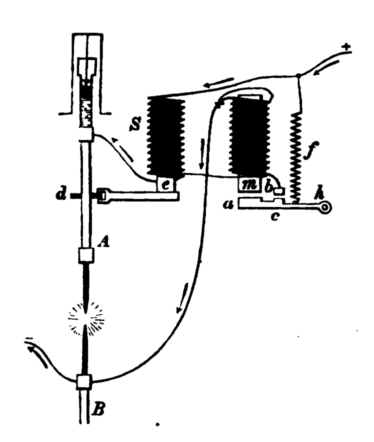


Fig. 246.

Das Nachsinken der positiven Kohle wird durch eine hydraulische Hemmung moderiert, welche aus einem am Gestell aufgehängten kleinen durchlochten Kolben besteht, der sich im obern hohlen, etwa mit Glycerin gefüllten Teile des Kohlenhalters A befindet. Endlich ist noch eine automatische Ausschaltung für den Fall angebracht, daß die Lampe zufällig versagt. Hierzu dient der erwähnte

ektromagnet m, indem bei Unterbrechung des Hauptstroms durch
: Kohlen der feine Draht der Nebenschließung von einem starken
trome durchlaufen wird, welcher den Magnet so kräftig erregt,
ıß dieser seinen Anker a anzieht, dadurch den Hebel h hebt und
:n Kontakt b c schließt, wodurch der Hauptstrom kurz geschlossen
ird und seinen Weg in der Pfeilrichtung direkt durch den untern
'ohlenhalter B nimmt.

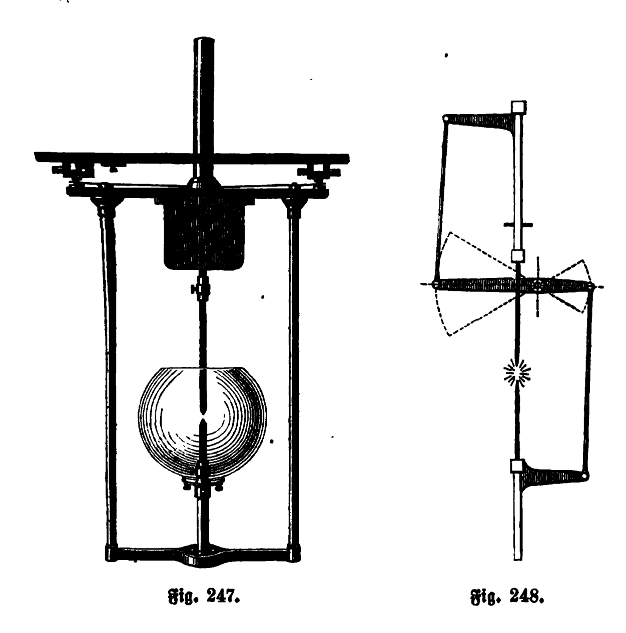


Fig. 247. Fig. 248.

Fig. 247 zeigt die gewöhnliche Brush-Lampe in der Einrichtung zur Fabriks- und Straßenbeleuchtung.

Die in den Lampen gewöhnlicher Größe (mit 2000 Kerzen Leuchtkraft) gebrannten Kohlen sind 11 mm stark; sie werden aus Retortenkohle von amerikanischen Petroleumraffinerien erzeugt und sind möglichst rein. Vor der Verwendung werden sie in Muffeln weißgeglüht und neuerdings galvanoplastisch mit Kupfer plattiert, wodurch der Widerstand der Kohlen geringer und unabhängig von

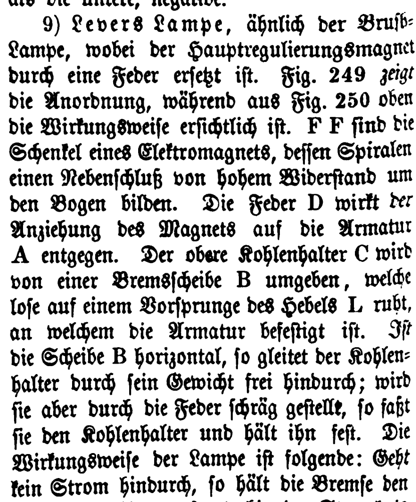
deren Länge wird; auch soll dadurch der Kohlenverbrauch um ein Drittel verringert werden. Gewöhnlich ist die Länge der Kohle 1 Fuß engl. für acht Stunden Brennzeit. Es sind jedoch diese Lampen auch mit Vorrichtungen versehen, durch welche zwei oder drei eingesetzte Kohlenstäbe nach einander sich automatisch einschalten, wodurch die Brennzeit auf 16—24 Stunden verlängert wird.

Diese einfache, sehr sinnreiche Vorrichtung besteht darin, daß von den zwei oder drei Kohlen immer die eine so weit abgehoben wird, daß der Lichtbogen nur an der andern Kohle entsteht. Ist diese ganz abgebrannt, so wird sie durch eine Arretierung an dem weitern Herabsinken verhindert und es kommt von selbst eine der Reservekohlen in Wirksamkeit.

Um für gewisse Zwecke den Lichtbogen in gleicher Höhe, z. B. im Fokus eines Reflektors, zu erhalten, wendet Brush die in Fig. 248 illustrierte Vorrichtung an, wodurch die beiden Kohlen stets gleichzeitig gegeneinandergerückt werden und zwar die obere, positive doppelt so schnell als die untere, negative.



Fig. 249.



9) Levers Lampe, ähnlich der Brush-Lampe, wobei der Hauptregulierungsmagnet durch eine Feder ersetzt ist. Fig. 249 zeigt die Anordnung, während aus Fig. 250 oben die Wirkungsweise ersichtlich ist. F F sind die Schenkel eines Elektromagnets, dessen Spiralen einen Nebenschluß von hohem Widerstand um den Bogen bilden. Die Feder D wirkt der Anziehung des Magnets auf die Armatur A entgegen. Der obere Kohlenhalter C wird von einer Bremsscheibe B umgeben, welche lose auf einem Vorsprunge des Hebels L ruht, an welchem die Armatur befestigt ist. Ist die Scheibe B horizontal, so gleitet der Kohlenhalter durch sein Gewicht frei hindurch; wird sie aber durch die Feder schräg gestellt, so faßt sie den Kohlenhalter und hält ihn fest. Die Wirkungsweise der Lampe ist folgende: Geht kein Strom hindurch, so hält die Bremse den Halter fest und die beiden Kohlen bleiben entfernt, bis der Stromkreis geschlossen ist, wodurch der Magnet erregt und die Armatur niedergezogen wird. Der obere Kohlenhalter wird dann frei und kommt

Kontakt, worauf der Strom einen Weg mit geringem Widerstand findet, der Magnet seine Kraft verliert und die Armatur löst. Die letztere wird alsdann sofort von der Feder gehoben und hebt die Bremse mit dem obern Kohlenhalter empor, wodurch der Strom hergestellt wird. Die Lampe brennt, bis der wachsende Widerstand des Stromes einen größern Stromteil durch die Magnetspiralen leitet und so dessen Kraft vergrößert; die Armatur wird angezogen und die Bremse gelüftet, bis der Kohlenhalter frei wird und sich ein wenig senkt. Fig. 250 zeigt eine Modifikation, wobei die Bremsscheibe durch zwei direkt mit der Armatur verbundene Federn ersetzt ist, welche in horizontaler Stellung den obern Kohlenhalter erfassen, aber durch Anziehung des Magnets ihn fallen lassen. Es ist zu beachten, daß die Lampen erst zur Wirkung kommen, wenn ihre Kohlen alle getrennt sind und folglich der Strom seinen Weg durch die sämtlichen Nebenschlußspiralen nehmen muß. Diese haben einen hohen Widerstand und folglich kann die Dynamomaschine, auch wenn sie auf hohe Spannung bewickelt ist, nicht die nötige Stromstärke zur Erregung ihrer Feldmagnete oder derjenigen der Lampen erzeugen. Um diese Schwierigkeit zu umgehen hat Lever einen automatischen Apparat konstruiert, durch welchen der Generator mittels eines Nebenschlusses von geringem Widerstande kurz geschlossen wird, bis der Strom die genügende Stärke erreicht hat. Der Nebenschlußstrom wird dann unterbrochen und der volle Strom geht in die Lampen. In Fig. 250 unten ist dieser Apparat dargestellt. Von den Klemmen des Generators laufen zwei Stromkreise aus, von denen der eine vier Lampen L L und der andere den automatischen Nebenschluß einschließt. Dieser besteht aus einem Elektromagnet, dessen Spiralen E E einen Widerstand ungefähr gleich dem der vier Lampen haben; ferner ist eine drehbare Armatur A und ein gleitender Kontakt C vorhanden. Der Strom geht durch die Magnetspiralen bis nach der Klemme B′ und dem festen Teile des Kontaktes und dann durch die Armatur nach der Klemme B und zurück nach dem Generator. Sobald jedoch die Armatur vom Magnet angezogen wird, gleitet ein Teil C des Kontaktes auf dem andern Teile S, der Stromkreis

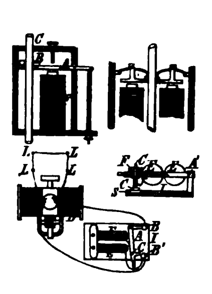


Fig. 250.

des Nebenschlusses wird unterbrochen und der ganze Strom geht durch die Lampen.

132. Welche Einrichtung haben die Differentiallampen?

In den Differentiallampen ist anstatt des Gewichtes oder der Feder, wodurch in den Nebenschlußlampen der Kraftäußerung des elektrischen Stromes entgegengewirkt und die Länge des Lichtbogens zwischen möglichst engen Grenzen konstant erhalten wird, eine zweite Drahtspule in der Form eines Solenoids oder Elektromagnets in den Nebenstrom eingeschaltet und eine derartige Ausbalancierung aller Teile hergestellt, daß die Gegenwirkung der beiden elektrischen Drahtspulen vollständig freies Spiel hat.

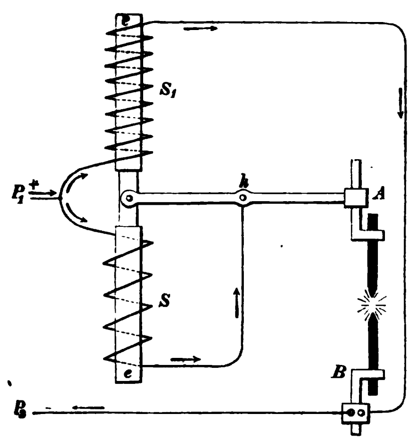


Fig. 251.

Von den Differentiallampen sind zu nennen:

1) Die Siemens-Halske-Lampe (System Hefner-Alteneck), deren Einrichtung Fig. 251 schematisch darstellt. In den Stromkreis ist einerseits die aus starkem Drahte gebildete Spule S und andererseits die aus feinem Drahte gebildete Spule S_1 eingeschaltet, von denen die letztere einen größern Widerstand bietet als die erstere. In diesen Spulen steckt der Eisenstab é, welcher in seiner Mitte

urch einen Hebel h mit dem obern Kohlenhalter A verbunden ist, ährend der untere Kohlenhalter B feststeht.

Der bei P_1 in die Lampe eintretende Strom verzweigt sich in ie beiden Spulen, wobei der durch die untere, geringen Widerstand ietende Spule gehende Zweigstrom die Kohlen nach der Austritts-lemme P_2 durchläuft, während der andere Zweigstrom durch die großen Widerstand bietende obere Spule mit kurzem Schluß außerhalb der Kohlen nach P_2 seinen Weg findet. Sind die Kohlen für die normale Bildung des Lichtbogens zu weit entfernt, so geht bei dem jetzt stattfindenden hohen Widerstande im Stromkreise der stärkste Stromzweig durch die obere, widerstandsstarke Spule S_1, der Eisenkern e wird folglich nach oben gezogen, der Hebel h am hintern Ende gehoben und daher ein Heruntergehen der obern Kohle und somit eine Verringerung des Kohlenabstandes bewirkt. Kommen die Kohlenspitzen einander zu nahe, so geht der Strom durch die widerstandsschwache Spule S, der Hebel wird gehoben und damit die obere Kohlenspitze emporgerückt, um den Kohlenabstand zu vergrößern.

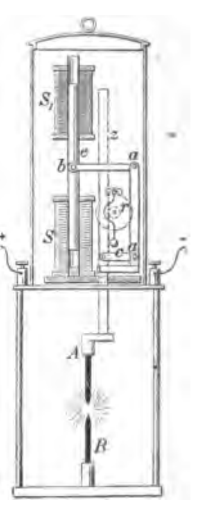


Fig. 252.

In der wirklichen Lampe (Fig. 252) ist der obere Kohlenhalter mit einer Zahnstange z verbunden, welche sich vertical in dem Parallelogramm b a a c bewegen kann, wobei ihre Bewegung durch ein Steigrad r mit Hemmung und Pendel geregelt wird.

Der Strom tritt bei P_1 ein und geht von da durch die Spulen S S_1 nach dem obern Kohlenhalter; die Klemme P_2 steht durch die beiden Stahlstangen mit dem untern Kohlenhalter und der Klemme P_1 in Verbindung. Die Wirkungsweise der Lampe ergiebt sich aus der Beschreibung der Fig. 251.

2) Die Gülcher-Lampe (Fig. 253 S. 264) von J. R. Gülcher in Bielitz-Biela erfunden, ist mit einem oszillierenden Elektromagnet m versehen, für welchen die Eisenstange A des obern Kohlenhalters direkt den Anker bildet. Der Magnet ist mit dem Ringe c umgeben, woran die Zapfen sitzen, mit denen der Magnet drehbar in

den vom Gestell isolierten Ständer b eingelagert ist. Die Kohlenhalter A und B sind zwischen Rollen geführt und am untern Ende mit Schnüren verbunden, welche über die Rollen 1 und 2 gehen, von welchen die für den obern, positiven Kohlenhalter dienende einen doppelt so großen Durchmesser hat als die andere. Die Magnetpole sind abgerundet und der hintere ist mit einem Ansatze versehen, unter welchem sich das mit dem Gehäuse verbundene Eisensäulchen i befindet; außerdem schleift der hintere Pol an der Feder f, welche dessen leitende Verbindung mit dem Gehäuse vermittelt. Eine am Winkelhebel h befestigte, vom Gehäuse isolierte Feder g drückt gegen den obern Teil des Zapfenringes c und bringt dadurch das hintere Magnetende mit dem Anschlag k in Berührung. Wenn der Strom bei P_2 in die Lampe eintritt, so geht derselbe durch den Ständer b und Ring c nach dem Elektromagneten und dem obern Kohlenhalter A und bewirkt, daß jener den obern Kohlenhalter A anzieht und festhält, gleichzeitig findet aber auch am andern Magnetende eine Anziehung durch das Eisensäulchen i statt, so daß dieses Ende sich senken und folglich das andere mit dem Kohlenhalter A sich heben muß, wodurch die Kohlen auseinandergerückt werden. Mit Zunahme der Entfernung der Kohlenspitzen durch den Abbrand derselben wird der Widerstand größer, der Strom also verhältnismäßig schwächer und demnach nimmt auch die Kraft des Magnets ab, so daß derselbe den Kohlenhalter A infolge von dessen Schwere herabgleiten läßt. Hierdurch wird der Strom wieder stärker, der Magnet hält die Halterstange A wieder fest und hebt sie eventuell empor. Auf diese Weise erfolgt die Regulierung des Lichtbogens.

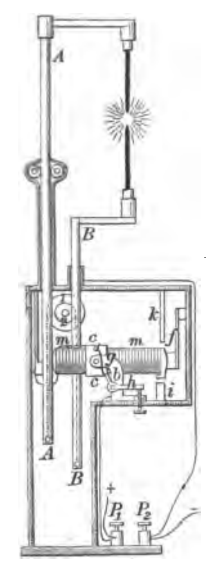


Fig. 253.

2) Die Schuckert-Lampe (System Krizik-Piette), erfunden von Franz Krizik und Ludwig Piette in Pilsen, vervollkommnet von S. Schuckert in Nürnberg, beruht auf der Anwendung doppelt konisch geformter Solenoidkerne, wodurch ein kräftigeres Hineinziehen des Kernes in die magnetische Spirale erreicht wird, als wenn der Kern

lindrisch ist. Auf diese Weise kann der Solenoidkern direkt zur Bewegung er Kohlenhalter dienen und das Zwischenräderwerk wird unnötig.

Fig. 254 illustriert schematisch die Einrichtung dieser Lampe. er doppelt konische Eisenkern e ist mit dem obern Kohlenalter A direkt und mit dem untern Kohlenhalter B mittels der über ie am Gestell befestigten Rollen r geführten Schnüre verbunden, o daß durch die Bewegung des Eisenkerns beide Kohlenhalter gleicheitig, aber nach entgegengesetzten Richtungen, bewegt erden. Der Eisenkern spielt frei in einem mit dem ampengestell verbundenen Messingrohre, um welches wei Solenoide S und S_1 gewunden sind. Das obere, aus starkem, wenig Widerstand bietendem Drahte gewundene Solenoid S ist in den durch die Kohlenhalter gehenden und den Lichtbogen bildenden Hauptstrom eingeschaltet, während das untere, S_1, das aus einer starken und einer dünnen, viel Widerstand bietenden Spirale besteht, mit der letztern einen Nebenschluß bildet.

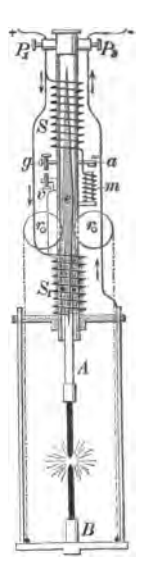


Fig. 254.

Um die Lampe bei dem zufälligen unzeitigen Erlöschen sofort automatisch ganz aus dem Stromkreise auszuschalten, ist mit der obern Spirale ein kleiner Elektromagnet m verbunden, der auf einen oszillierenden Anker a wirkt, welcher durch ein Gegengewicht g vom Magnetpole entfernt gehalten wird, so lange nicht die magnetische Anziehung die Gewichtskraft überwindet. Unterhalb des Hebelendes befindet sich in einem von dem Lampengestell isolierten Winkelstück eine Kontaktschraube v, welche mit der untern Doppelspirale S_1 in Verbindung steht. Der bei P_1 eintretende Strom geht durch die obere Spirale S, den Elektromagnet m und den obern Kohlenhalter A, tritt alsdann in den untern Kohlenhalter B über und geht von da nach der Austrittsklemme P_2. Je größer der Lichtbogen wird, um so stärker wird auch der Widerstand in der obern Spirale S und ein um so größerer Teil des Stromes geht durch die untere Spirale S_1, folglich wird dann der Eisenkern e auch um so mehr von der letztern Spirale angezogen und somit auf eine Annäherung der Kohlenspitzen hingewirkt; nur bei normaler Stärke des Lichtbogens ist die Einwirkung der beiden Spiralen auf den Eisenkern gleichgroß.

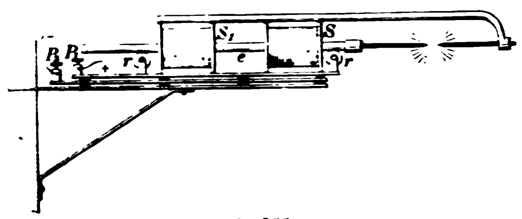


Fig. 255.

Fig. 255 stellt die Krizik-Pietteſche Differentiallampe mit horizontalen Kohlenſtäben dar; bei dieſer außerordentlich einfachen Konſtruktion iſt e der Eiſenkern, r r ſind Kontaktrollen und S S₁ die beiden Differentialſpiralen. Die eine Kohle iſt am Ende des Rohres e und die andere am Arme d befeſtigt.

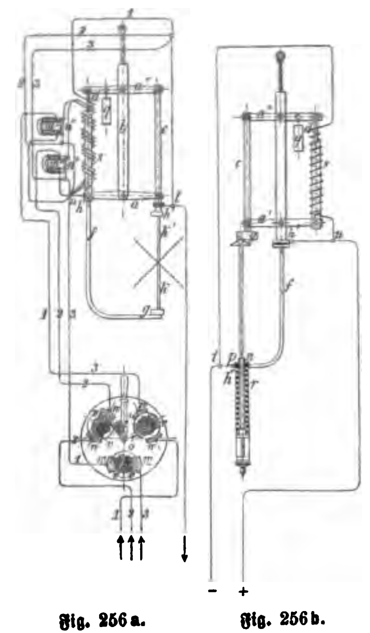


Fig. 256 a. Fig. 256 b.

Die Zipernowsky-Lampe (Fig. 256 a—d) iſt ſo eingerichtet, daß ein oder mehrere Lichter in einem konſtanten Stromkreiſe in unveränderlicher Stärke erhalten werden, oder auch ſo, daß mit Hülfe von verſchiedenen Quantitäten elektriſcher Ströme eine entſprechende regelmäßige Veränderung der Lichtſtärke ſelbſtthätig bewerkſtelligt wird. Die Lampe reguliert ſowohl für gleichgerichtete als für Wechſelſtröme und ſie ſoll bei der Einrichtung für variable Lichtſtärken eine unbegrenzte Modulationsfähigkeit beſitzen, indem ſie geſtattet, die Lichtſtärke beliebig zu verändern.

Fig. 256 a illustriert schematisch diese Lampe in der Anordnung ür dreierlei Lichtstärken. Die aus einer beliebig teilbaren Elektrizitätsquelle gewonnenen Ströme 1, 2 und 3 werden einzeln zur Schaltvorrichtung geführt, an welcher durch Drehung eines gezahnten Kreissektors z_1, der die Zahnrädchen z z z um einen entsprechenden Winkel verdreht, die Kontakte v w einzeln geöffnet oder geschlossen werden. Auf diese Weise kann man durch die entsprechende Stellung des Sektors beliebig viele der vorhandenen Ströme nach einer bestimmten Reihenfolge zur Lampe führen, wie dies die Figur in der angegebenen Numerierung zeigt. Ebenso geschieht auch die Ausschaltung der Ströme in der umgekehrten Reihenfolge durch die entgegengesetzte Drehung des Sektors z_1.

Die Leitung eines jeden einzelnen Stromes führt abgesondert zur regulierenden Spule s, welche einen Nebenschluß zu jener Stromleitung bildet, worin der Lichtbogen entsteht, und es ist dieselbe aus ebensovielen parallel geschalteten Einzelspulen zusammengesetzt, als Einzelströme vorhanden sind.

Der Strom 1 tritt unmittelbar in die Spule s und verzweigt sich in deren drei Paralleldrähten, die übrigen Stromleitungen hingegen führen erst über je einen kleinen Elektromagnet m′ m″, welcher je eine der Parallelspulen durch Öffnen eines Kontaktes n′ n″, aus dem Stromkreis ausschaltet, und zwar sind die Querschnitte der Einzeldrähte bei gleicher Länge so gewählt, daß in demselben Maße, wie die Summe der zugeleiteten Ströme zu- oder abnimmt, auch der Gesamtwiderstand der Spule s durch Ausschaltleitung, in welcher der Strom die Spule umfließt, eine Veränderung erleidet. Die Querschnitte der einzelnen Spulendrähte werden nach Maßgabe der Anzahl und Stärke der Einzelströme berechnet; so sind dieselben z. B. im gegebenen Falle, wenn die Ströme 1, 2 und 3 gleich genommen werden, im Verhältnis 3 : 1 : 2 zu dimensionieren.

Aus dem obigen folgt, weil die Spule s der Nebenschluß einer Stromleitung von bestimmtem Widerstande ist, und weil der Widerstand von s mit demjenigen der Hauptleitung verglichen sehr bedeutend ausfällt, daß der partielle Strom, welcher sich in die Spule s abzweigt, von der Anzahl der zugeleiteten Ströme unabhängig und immer unveränderlich bleibt, und somit der veränderliche Strom in derselben Lampe verschiedene Lichtstärken hervorbringen kann, ohne den regulierenden Mechanismus der Lampe störend zu beeinflussen.

Der regulierbare Mechanismus besteht außer der Spule s als bewegendem Teil hauptsächlich aus einem Doppelparallelogramm, dessen Glieder a′ a″ c und d (Fig. 256 a und 256 b) an dem beweglichen Gestell b drehbar befestigt sind. Das Glied c des Parallelogrammes trägt ein in Fig. 256 c im Detail dargestelltes Räderwerk; an d ist der Anker e angebracht, welcher von der Spule s angezogen wird; q ist ein der Spulenanziehung entgegenwirkendes Gewicht, das verschiebbar ist; an dem Gestell b ist ein Sperrhaken L (Fig. 256 c) befestigt. Am Zahnrade A sitzt die Zahnstange B, welche zugleich mit A der auf- und niedergehenden Bewegung des Gliedes c folgen und in der Stellung des Doppelparallelogramms,

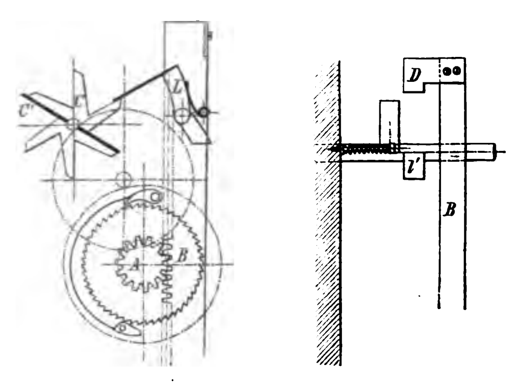


Fig. 256 c. Fig. 256 d.

wo das Sternrad C vom Sperrhaken losgelassen wird, vermöge ihres Gewichtes nach abwärts gehen muß.

Der Windflügel C′ dient zur Verzögerung des von Zeit zu Zeit eintretenden Nachfallens der Zahnstange.

Die Zahnstange B bildet zugleich den obern Kohlenhalter, welcher die Kohle k′ trägt, während der untere Kohlenhalter mit der Kohle k entweder unbeweglich oder mit dem Anker e beweglich, wie in Fig. 256 a, oder endlich, wie in Fig. 256 c, so angeordnet ist, daß die Kohle k durch eine Spiralfeder r (Fig. 256 b) in der Hülse n mit ihrer Spitze immer gegen den festen Punkt p vorgeschoben wird. Im zweiten Falle können entsprechend der beständigen oder wechselnden

htung der Ströme die Hebelarme des Doppelparallelogramms so
vählt werden, daß die Gewichte der Kohlenstäbe während der
nzen Dauer ihres Abbrennens sich gegenseitig entlasten.

Anstatt einer Nebenschlußspule kann auch mit Wegfall des
egengewichtes q ein Differentialspulensystem zur Anwendung kommen
id zwar so, daß der Strom 1, bevor derselbe sich bei n verzweigt,
st eine dickdrähtige Spule durchfließt, welche der Nebenschlußspule
itgegen auf den Anker e anziehend wirkt. In diese dickdrähtige
Spule werden die übrigen Ströme nicht zugelassen. Infolge der
Anziehung der Spule s, bezw. der beiden entgegengesetzt wirkenden
Spulen wird der Anker e gehoben oder gesenkt und dadurch die Annäherung
oder Entfernung der Kohlenspitzen bewerkstelligt, bis zu
einer gewissen Stellung des Ankers, wo das Räderwerk ausgelöst
und die kohlenhaltende Zahnstange B um das notwendige Maß
langsam fallengelassen wird.

Hat sich die obere Kohle bereits so weit aufgezehrt, daß eine Auslösung
der betreffenden Lampe aus dem Stromkreis geboten ist,
dann ist auch die Zahnstange B so tief herabgesunken, daß die Schneide D
(Fig. 256 d) auf den Hebelansatz l′ des Sperrhakens L drückt und
mit Überwindung der entgegengesetzten Federkraft ihn zum Ausweichen
zwingt. Dadurch wird der Sperrhaken umgekippt, und weil das
so ausgelöste Räderwerk nicht mehr imstande ist, die Zahnstange zu heben, so wird alsdann
ein ununterbrochener Schluß des Stromkreises zwischen den sich berührenden Kohlen
k k′ hergestellt und die übrigen in demselben Stromkreise befindlichen Lampen können ungestört fortbrennen.

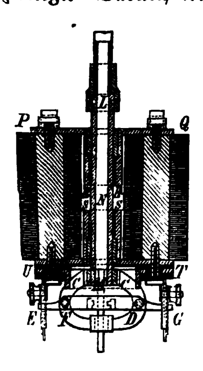


Fig. 257.

Der Anker e (Fig. 256 b), welcher in die Spule s eintaucht, wird der größern
Empfindlichkeit wegen aus vielen dünnen Eisendrähten hergestellt.

Ayrton und Parrys Lampe (Fig. 257). In dieser Lampe geht der obere
Kohlenhalter durch den regulierenden Magnet mitten hindurch; dieser Magnet kann aus
einer oder mehreren Spiralen bestehen. In der Figur sind zwei Spiralen mit den hohlen eisernen Polschuhen
PRQ und UST vorhanden, deren Zweck es ist, ein intensives
Magnetfeld im Raume RS herzustellen. In den Polschuhen arbeitet

der Magnetkern L M, dessen oberer Teil L N aus Eisen, der untere N M aber aus Messing besteht. Mit diesem Kern ist ein Rahmen C verbunden, an dessen einem Ende bei D und F zwei Hebel D E und F G angelenkt sind. In der Mitte der Länge ist jeder Hebel mit einem Vorsprung versehen, welcher den andern übergreift; diese beiden Vorsprünge bilden die den Kohlenstab haltende Klemme. Kernrahmen und Hebel sind an (nicht dargestellten) Spiralfedern am Gestell aufgehängt, und in dem Normalzustande der Lampe, wenn der Bogen gebildet ist, gleicht die Anziehung des Kerns nebst dem Gewicht der beweglichen Teile gerade den Aufwärtszug der Federn aus. Da die Magnetspiralen in einen Nebenschluß vom Hauptstrome eingeschaltet sind, so ist die Tendenz des Kerns und Rahmens, bei jeder Verlängerung des Bogens herabzugehen. Der Rahmen braucht sich jedoch nur wenig zu senken, indem alsdann die Hebel mit den Anschlägen E und G in Berührung kommen, so daß sie die Kohle loslassen und diese alsdann von selbst weiter herabgleitet. Die untere Kohle ist fest.

133. Auf welchem Prinzip beruhen die Kontaktstoßlampen und wie sind dieselben eingerichtet?

Bei dieser Art von Lampen wird die normale Bogenlänge dadurch hergestellt, daß allemal, sobald die richtige Entfernung der Kohlenspitzen überschritten wird, die obere Kohle im Herabfallen die untere berührt und dadurch die volle Stromkraft herbeiführt, worauf sofort wiederum die oberen Kohlenspitzen bis auf die richtige Distanz gehoben werden. Das dabei entstehende momentane Verlöschen des Lichtbogens ruft ein blinkendes Licht hervor, an welches sich jedoch das Auge bald gewöhne, weil dasselbe nicht auffälliger sein soll, als das durch Unreinheit der Kohlen auch bei anderen elektrischen Lampen entstehende Lichtblinken.

Als solche Lampen sind zu nennen:

1) Die Mackenzielampe (Fig. 358); dieselbe besteht aus einem Ständer C, an dem ein oszillierender Hebel h den obern röhrenförmigen Kohlenhalter A trägt, worin der positive Kohlenstift steckt. Von dem freien Hebelarme geht die Stange e abwärts, an deren untern Ende der Anker a des Elektromagnets m sitzt, welcher letztere beim Durchgange des Stromes den Anker anzieht. Sobald aber durch den Abbrand der Kohlen deren Entfernung zunimmt und dadurch der Strom schwächer wird, läßt der Magnet den Anker los, der Hebel h wird frei und der obere Kohlenhalter

t herab. Mittels des an einer Kette hängenden kleinen Gegengewichts g wird der obere Kohlenhalter entsprechend ausbalanciert und der Stoß beim Herabfallen gemildert, worauf der Hebel g durch Anziehung des Ankers durch den wieder mit voller Kraft wirkenden Magnet den Kohlenhalter A wieder bis zur richtigen Distanz der Kohlenspitzen emporhebt. Die untere Kohle steckt ebenfalls in einem röhrenförmigen Halter und wird mittels einer Spiralfeder emporgeschoben; diese Feder wird durch eine um eine Federtrommel gewundene Kette gehalten und durch eine Hemmung allmählich losgelassen, indem ein mit dem oszillierenden Anker a verbundener Hebel auf den Hemmungshaken einwirkt.

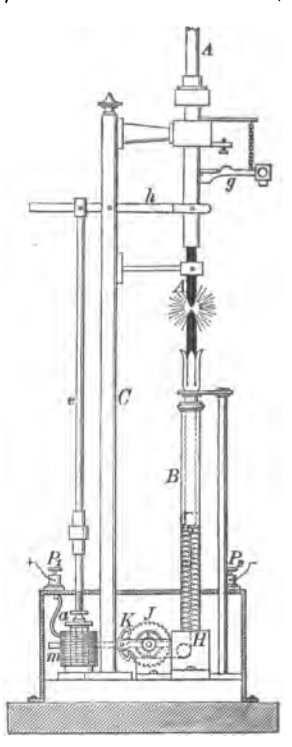


Fig. 258.

2) Die Brockielampe (Fig. 259 S. 272) hat einen röhrenförmigen obern, positiven Kohlenhalter A, der zwischen den Stangen b b des Lampengestells geführt wird. Die untere, negative Kohle sitzt fest im Gestell. Der Strom tritt bei P_1 in die Lampe, durchläuft die Kohlen und geht bei P_2 weiter. Durch die Leitung Z wird ein Strom abgezweigt und in den Elektromagnet m geführt, welcher auf den Anker a wirkt und dadurch den Kohlenhalter A mittels einer Klemmscheibe festhält. Das periodische Herabfallen des obern Kohlenhalters wird durch einen Kommutator bewirkt, welcher den Zweigstrom etwa alle Minuten unterbricht, so daß der Magnet m den Anker a losläßt. Der Kommutator ist durch die Klemmen p_1 und p_2 mit der Nebenschlußleitung Z verbunden. Die Klemme p_1 steht mit einem innen verzahnten Rade in Verbindung, welches durch ein Schneckengetriebe auf der Riemen-

scheibenwelle v betrieben wird. Die Klemme p_2 ist dagegen mit der Klinke d verbunden. Das rotierende Zahnrad trägt an der Seite einen Stift s und eine Scheibe t. So lange die Klinke d auf der Scheibe t ruht, ist der Nebenstromkreis geschlossen; bei jeder Umdrehung der Scheibe wird jedoch die Klinke d durch den Stift s gehoben und somit der Nebenstrom unterbrochen, wodurch der obere Kohlenhalter herabfällt, sofort aber wieder durch die neuerweckte Wirkung des Elektromagnets mittels der Klemmscheibe gehoben und die richtige Distanz der Kohlenspitzen hergestellt wird.

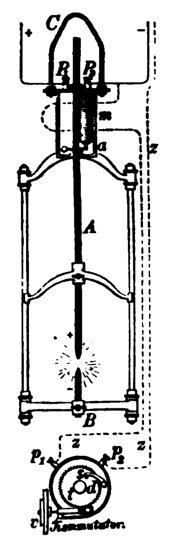


Fig. 259.

In seiner neuesten Lampe verwertet Brockie die von ihm gemachte Erfahrung, daß der Widerstand eines Lichtbogens sehr konstant ist, wenn seine Länge in einem passenden Verhältnis zu den Maßen und der Beschaffenheit der Kohlenstäbe sowie zur Stromstärke steht, daß dagegen der Widerstand sehr veränderlich wird, sowie die Länge der Kohlenstäbe überschritten ist. Diese Veränderlichkeit des Widerstandes wird zur Regulierung der Entfernung der Kohlenstäbe benutzt, indem Brockie durch sie den Anker oder Kern eines in einem Nebenschluß zum Lichtbogen befindlichen Elektromagnets in Schwingungen versetzen läßt, welche sich auf ein Echappemen tübertragen, durch welches das letzte Rad eines vom Gewicht der obern Kohle betriebenen Räderwerkes in schrittweiser Umdrehung erhalten wird. Sobald der Widerstand konstant und also auch der Lichtbogen stabil wird, hören diese Schwingungen auf.

134. Worin besteht die wesentliche Einrichtung der elektrischen Kerzen und welche Konstruktionen derselben sind besonders erwähnenswert?

Die elektrischen Kerzen sind so eingerichtet, daß die normale Länge des Lichtbogens durch die gegenseitige Stellung der Axen der Kohlenstifte bestimmt ist, sei es nun, daß dieselben einfach parallel neben einander befestigt sind oder sich unter bestimmten Winkeln schneiden. Es gehören hieher die folgenden Beleuchtungsapparate:

1) Die Jablochkoffkerze (Fig. 260); bei derselben sind die Kohlenstäbchen parallel neben einander gestellt und durch

eine Zwischenlage von Gips mit einander verbunden. Diese Trennungsschicht schmilzt und verdampft in der Hitze des Lichtbogens, so daß die Enden der Kohlenstäbchen nach Maßgabe des Abbrennens frei werden. Um den Abbrand gleichmäßig zu erhalten wird diese Kerze durch Wechselströme gespeist. Die durch die Gipshülle vereinigten Stäbchen werden in einer Klemme festgehalten, mit welcher die Leitungsdrähte von unten verbunden sind. Neuerdings sind die Kohlenstäbe durch Metalldrähte ersetzt worden und als Isolierschicht ist Anthracit angewendet. Das durch den Lichtbogen abbrennende

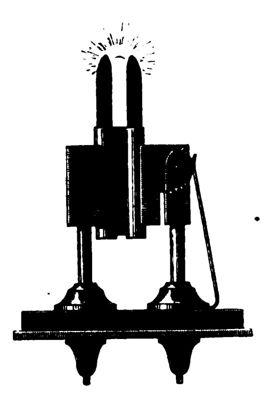


Fig. 260.

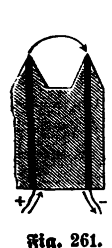


Fig. 261.

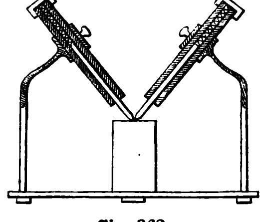


Fig. 262.

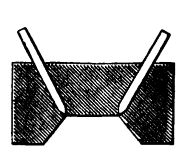


Fig. 263.

und dabei die Gestalt wie in Fig. 261 annehmende Ende des Anthracits bildet einen leuchtenden Zünder zwischen den Metallspitzen, welcher das Wiederanzünden der erloschenen Kerze ermöglicht.

2) Die Soleilkerze (Soleillampe) ist in Fig. 262 in ihrer ältesten, von Leroux erfundenen Form dargestellt, wobei zwei konvergierende Kohlenstäbe auf einem Block von Magnesium oder Kreide stehen. Die neuere Form der Soleillampe zeigt Fig. 263. Hier sind die konvergierenden Kohlenstäbe in einen Block von Marmor eingesteckt, der unten ausgehöhlt ist und durch die Bildung des Lichtbogens einen leuchtenden Krater bildet.



Fig. 264.

3) Die Jamin-Kerze (Fig. 264) besteht aus zwei parallelen Kohlenstäben, die ohne Isolierschicht nur durch einen schmalen Luftzwischenraum getrennt sind. Der Lichtbogen wird durch einen um die Kohlenstäbe in isolierten mehrfachen Drahtwindungen herumgeführten Leitstrom fortdauernd an den freien Enden der Kohlenstäbe erhalten, wie dies durch Pfeile angedeutet ist. Das Licht dieser Lampe ist absolut konstant und von warmer Färbung, so daß dasselbe sehr angenehm wirkt. Neuerdings hat diese Lampe eine ansprechend elegante Form dadurch erhalten, daß man sie nach unten mit einer halbkugeligen Glasglocke und nach oben mit einer Metallkrönung versieht. Bei der neuen Anordnung besteht die Lampe aus einem kleinen Marmorblock mit zwei seitlich diametralen und einer trichterförmigen nach unten gehenden Öffnung zur Ausstrahlung des Lichts, während die seitlichen Öffnungen die beiden cylindrischen Kohlenstäbe aufnehmen, die vom Strome kontinuierlich gegen einander geführt werden. Der Marmorblock hält 15 Stunden aus und die Abnutzung der Kohlen beträgt nur 2 mm stündlich. Eine Lampe von 90 Carcels braucht eine Pferdestärke, eine solche von 120 Carcels zwei Pferdestärken.



Fig. 265.

4) Die Rapieff-Kerze (Fig. 265) ist mit zwei paar spitzwinklig gegen einander gestellter und durch Schnüre mittels eines Gewichts gegen einander gepreßter Kohlenstäbe versehen, wodurch die normale Bogendistanz ohne Regulierwerk erhalten bleibt. Die Kontaktstelle des obern Stabpaares bildet dabei die positive Kohlenspitze und die Kontaktstelle des untern Stabpaares die negative Kohlenspitze. Anstatt des obern Stabpaares hat Rapieff auch einen Kohlenklotz angewendet.

5) Die Andrew-Kerze besteht aus drei trapezförmig, parallel neben einander gestellten Kohlenplatten, von denen die beiden äußeren, etwa 3 mm dicken, an den unteren Kanten durch Schieferplatten von der mittlern nur etwa 0.8 mm getrennt sind; durch zwei Federn wird das Ganze zusammengehalten und der Strom in die Platten geführt. Die Entzündung erfolgt dadurch, daß ein Elektromagnet durch seinen Anker ein die beiden äußeren Platten unterhalb berührendes Kohlenstückchen wegzieht. Der danach auftretende Lichtbogen bewegt sich an den abgeschrägten Kanten der Platten nach oben, wo er mit stetigem Licht fortbrennt. Die wie Kerzen abbrennenden Kohlenplatten unterhalten das Licht ungefähr 70 Stunden lang.

Fünfundzwanzigstes Kapitel.

Die Glühlichtlampen.

135. Wie werden die Glühlichtlampen oder Inkandeszenzlampen klassifiziert?

Man kann zwei Klassen von Glühlichtlampen unterscheiden:

1) Die Kontaktglühlichtlampen oder Kontaktbogenlampen und

2) die Widerstandsglühlichtlampen oder Glühdrahtlampen.

Bei der ersten Klasse wird das Licht durch den Stromübergang mittels unvollständigen Kontaktes zwischen zwei oder mehr Kohlen erzeugt, wobei eine geringe Lichtbogenbildung eintritt und infolge der Berührung mit atmosphärischem Sauerstoffe ein Verbrennen der Kohlen stattfindet. In den meisten Fällen beschränkt sich jedoch das Glühen und Verbrennen auf die positive Kohle, weil diese als dünner Stab, die negative Kohle dagegen als Scheibe oder Block angewendet wird.

Bei der zweiten Klasse wird der elektrische Strom gezwungen, durch einen dünnen homogenen Kohlenfaden hindurch zu gehen und so denselben zum Glühen zu bringen, wobei das Verbrennen des dünnen Kohlenfadens dadurch verhütet wird, daß derselbe in ein luftleeres oder mit einem neutralen Gase angefülltes Glasgefäß eingeschlossen ist.

136. Welches sind die wichtigsten Kontaktglühlampen?

1) Die Reynier-Lampe wird nach drei Systemen ausgeführt. Das erste System beruht auf dem folgenden Prinzip: Wenn ein dünner Kohlenstab, der seitlich durch einen elastischen Kontakt gedrückt und nach seiner Axe gegen einen festen Kontakt geschoben wird, zwischen diesen Kontakten von einem genügend starken elektrischen Strome durchlaufen wird, so kommt derselbe zum Glühen und verbrennt, indem er sich gegen das Ende verdünnt, wie dies Fig. 266 illustriert. Das zweite Prinzip, welches Fig. 267 illustriert, beruht darauf, daß der Widerstand eines elektrischen Leiters dadurch verstärkt und der Leiter zum Glühen gebracht wird, daß man denselben aus einer Anzahl einzelner Stücke zusammensetzt und dieselben nur mit einem schwachen Drucke auf einander preßt. Je mehr Kontaktstellen ein derartig geteilter Leiter bietet, um so größer ist dessen Widerstand. Der in Fig. 267 abgebildete, durch den Strom zum Glühen gebrachte Leiter besteht aus einer Anzahl scheibenförmiger Graphitstückchen, welche zwischen zwei Kontakten mäßig zusammengepreßt werden.

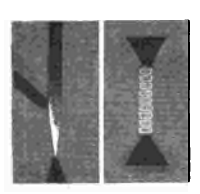


Fig. 266. Fig. 267.

Nach dem ersten Prinzip hat Reynier die in Fig. 268 dargestellte Lampe konstruiert. Der dünne Kohlenstab C wird mittels eines geeigneten Mechanismus in der Richtung des Pfeiles gegen den knopfförmigen Kontakt B geschoben; der seitliche Kontakt D wird mittels der Spiralfeder E gegen den Kohlenstab C gedrückt und so zwischen beiden Kontakten das durch den Strom zum Glühen gebrachte Stück i j des Kohlenstabes abgegrenzt. Diese Lampe hat die Fehler, daß die Kontakte viel Schatten werfen und viel Wärme ableiten; außerdem ist der seitliche Kontakt sehr delikat.

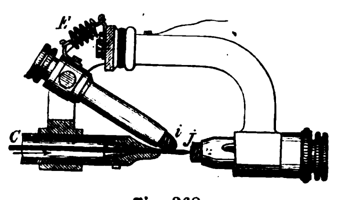


Fig. 268.

Das zweite Prinzip hat Reynier dahin abgeändert, daß er die Enden einer größern Anzahl dünner Kohlenstäbe in Kontakt brachte, um das verbrannte Material durch Nachschieben der Stäbe stets

wieder erneuern zu können. Fig. 269 illustriert eine derartige, zur Herstellung einer Lampe benutzte Anordnung, welche gut funktioniert haben soll, jedoch zieht der Erfinder derselben vorläufig noch das dritte System vor, weil dasselbe einfacher ist und keine breiten Kohlenstäbe wie das zweite System braucht, sondern mit gewöhnlichen cylindrischen Stäben funktioniert.

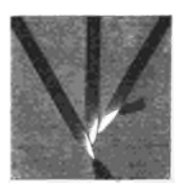


Fig. 269.

Fig. 270 zeigt eine nach diesem neuesten Prinzip konstruierte Lampe. Die frei an viereckigen convergierenden Führungen C und D mittels Hülsen gleitenden Kohlenstäbe ruhen mit ihren Enden auf zwei Kontakten E und F und liegen dabei mit ihren Enden im Punkte x mit sachtem Drucke aneinander, so daß zwischen E x F der Strom kreisen kann, wodurch die Spitzen der Stäbe bis zu einer gewissen Länge, die eben nur bis zum Punkte x reicht, ins Glühen geraten. Der Vorschub der Kohlenstäbe gegen die Kontakte wird durch die schweren Hülsen P Q bewirkt. Die Kontakte E F werden durch zwei Kupferstücke gebildet, welche an den Messingbogen G H befestigt sind. Die beiden Führungsstäbe C D sind oben und unten durch die isolierten Querteile I und J verbunden. Am obern hölzernen Verbindungsstücke I ist der Haken zum Aufhängen der Lampe angebracht und darüber befinden sich an den Enden der Führungsstangen die Klemmen K L zum Einschalten des Stromkreises. Das untere Querstück J besteht aus feuerfestem Material (etwa Porzellan) und dient zur Führung der Kohlenstabenden. Die Führungshülsen P Q sind durch die Elfenbeinknöpfe r und s von den Kohlenstäben isoliert.



Fig. 270.

Eine Reynier-Lampe zeigt Fig. 271 S. 278. Dieselbe ist nach demselben Prinzip wie die in Fig. 267 illustrierte Lampe konstruiert; dieselbe hat als untern Kontakt eine kleine drehbare Kohlenscheibe a, auf welcher der dünne Kohlenstift aufruht. Ein dem Kontaktstifte

gegenüber angebrachtes Röllchen b dient zur Führung des Kohlenstabes, dessen Halter sich nach Maßgabe des Abbrandes allmählich in den hohlen Fuß der Lampe einsenkt. Mit einem Strome von dreißig Bunsen-Elementen speist Reynier fünf solche Lampen.

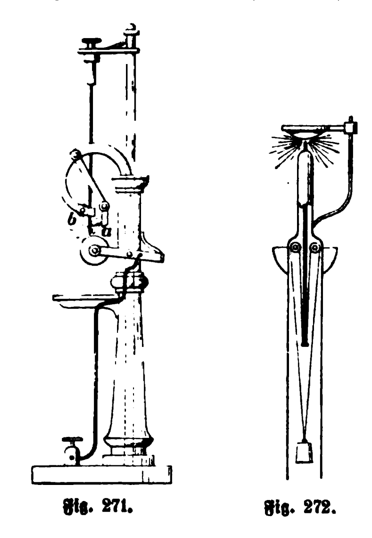


Fig. 271. Fig. 272.

2) Die Werdermann-Lampe (Fig. 272), eine Modifikation der Reynier-Lampe, besteht aus einem verticalen, positiven Kohlenstäbchen, welches durch Gewichte gegen die oberhalb befindliche horizontale, negative Kohlenscheibe gedrückt und durch den Strom am obern Ende auf 15 bis 20 mm Länge hellrot glühend erhitzt wird, wobei die Scheibe unversehrt bleibt. Eine mit zwei Pferdestärken betriebene Gramme-Maschine ergab mit

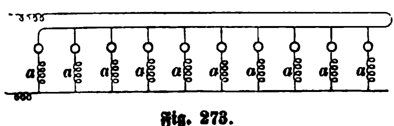


Fig. 273.

zwei solchen Lampen 38 Carcels Lichtstärke; das Licht war weiß und konstant.

Wurden zehn Lampen in den Stromkreis in Teilströmen, in der Weise wie Fig. 273 zeigt, eingeschaltet, so ergab jede eine Lichtstärke von fünf Carcels. Um die gleichförmige Wirkung zu sichern, war für jede Lampe bei a eine Spirale von schwachem Widerstande eingeschaltet. Unter diesen Umständen ergab jede Lampe einen Widerstand von 0.392 Ohms und der Abbrand des Kohlenstifts betrug per Stunde 50 mm.

Werdermanns verbesserte Lampe zeigen Fig. 274a und 74b. Die obere Kohle wird zwischen drei Rollen a, a¹, a² gehalten, on denen a² in einem oszillierenden Rahmen P liegt und durch ine Feder gegen die Kohle gepreßt wird. An a ist eine Scheibe efestigt, durch welche diese Rolle mittels zweier Bremshebel nach eder Richtung rotieren kann. Der eine Hebel wird durch die dicke Spule W und der andere durch die Widerstandsspule M bewegt, um die Zuführung zu bewirken. Diese Hebel sind mit unabhängigen Armen verbunden, die auf der Axe von a sitzen. Das Solenoid M befindet sich in einem Nebenschluß um den Bogen und ist mit zwei

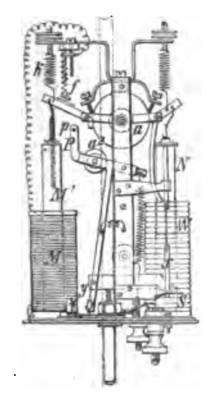




Fig. 274a.

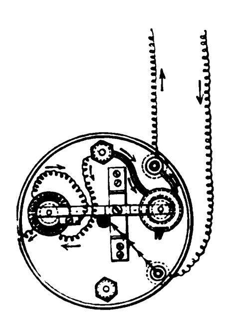


Fig. 274b.

Drahtlängen umwunden, die so angeordnet sind, daß der Strom nur durch die eine oder durch beide zusammen geht. Das äußere Ende der innern Länge und das innere Ende der äußern Länge sind mit der Platte f verbunden, welche im Wege nach einem Kontakt am Zuführungshebel liegt. Wenn der Stromkreis geschlossen ist, so wird der Kern N des Solenoids W bis zur Armatur niedergezogen und daselbst zurückgehalten, wobei die Rolle a gleichzeitig rotiert und der Bogen hergestellt wird. Ehe der Kern N den tiefsten Punkt seiner Bewegung erreicht, kommt ein an der Axe des Greifhebels befestigter Hebel in Kontakt mit dem Rahmen und dreht die Axe, so daß die Rolle a frei wird, wobei dieselbe sofort von dem durch den Kern M′ bewegten Hebel erfaßt wird. Sowie der Bogen





Fig. 277 b.

B sitzt in
Eisenkerne F
kann. Um
mm dickem
ößt bei der
che die mit
elche mittels

sich verlängert wächst die Kraft des Solenoids M und sein Kern geht abwärts, bis der Kontakt bei f aufgehoben ist, worauf der Widerstand der zweiten Spule den Nebenschlußstrom reduziert und dem Kern M′ gestattet, wieder emporzusteigen. Sollten die Kohlen brechen oder der Bogen versagen, so trifft der Bremshebel auf den Stift p, zieht den Rahmen P niederwärts und gestattet der Kohle das Niederfallen. Da die Kohlen direkt ohne Halter durch die Rollen gehen, so können sehr lange Kohlen verwendet werden.

Fig. 275. Fig. 276.

3) Die Joel-Lampe (Fig. 275 und 276) besteht ebenfalls aus einem gegen einen Kohlenblock sich anstemmenden Kohlenstabe. Bei der Einrichtung Fig. 275 ist der Block oben und der unterhalb befindliche Kohlenstab steckt in einem Rohre, welches durch den Elektromagnet MT hindurch geht, der mit feinem Drahte umwunden ist. Unterhalb des Magnets sitzt am Rohre ein Bund, woran zwei Rollen R befestigt sind, über welche die Schnüre gehen, an denen das ringförmige Gewicht W hängt. Der Bund bildet den Anker des Magnets; sobald der Kohlenstab den Kohlenblock E nicht berührt, geht der ganze Strom durch den Draht des Magnets, so daß dieser den Bund mitsamt dem Gewicht W anzieht. Hierdurch werden die oberhalb am Lampengestell befindlichen Backen JJ von dem oben am Rohre befindlichen Ansatze F freigegeben und der unterhalb mit einer Schnurrolle versehene Kohlenstab wird durch die Schnur gleichzeitig mit dem Gewichte W gehoben, bis er den Kohlenblock berührt.

Bei der Einrichtung Fig. 276 ist der Kohlenblock unten angebracht und der Kohlenstab geht durch das Rohr abwärts, wobei er mittels des an Schnüren über Rollen aufgehängten Gewichts W von den Backen J festgeklemmt wird. Der Magnet S bewirkt in ähnlicher Weise wie in der Lampe Fig. 275 das Lösen der Anker und Herabsinken des Kohlenstabes, sobald durch Abbrand dessen Berührung mit dem Kohlenblock unterbrochen wird.

4) Bei der Solignac-Lampe wird die im Schließungskreise erzeugte Wärme zur Regulierung des gegenseitigen Abstandes der Kohlen benutzt, indem mit den beiden horizontal gelagerten Kohlenstäben je ein dünner Glasstab verbunden ist, welcher sich unterhalb des Lichtbogens gegen einen festen Anschlag stemmt und sich infolge der durch die Hitze eintretenden Erweichung mit der durch ein Uhrwerk bewirkten Annäherung der Kohlen allmählich krümmt. Bei seiner neuesten Lampe benutzt jedoch Solignac nur noch ein Glasstäbchen. Fig. 277b illustriert die Wirkungsweise dieses Glasstäbchens, während Fig. 277a die ganze Lampe in 1/10 der wirklichen Größe darstellt. A ist die negative Kohle, welche durch einen Cylinder von 25 mm Durchmesser gebildet ist und in welche der Strom durch eine mit der Kohle verbundene kleine Klemme a eintritt. Diese Klemme a ist durch einen spiralförmig gewundenen Draht mit der vom Gestell isolierten Klemme a′ verbunden. Dieser Kohlencylinder A bewegt sich frei in dem aus feuerfestem Material hergestellten hohlen Cylinder B, wird aber am untern Ende von dessen Höhlung durch einen vorspringenden Rand b gestützt. Der Cylinder B sitzt in einer Kupferhülse C, die durch einen Bügel D mit dem Eisenkerne F verbunden ist, der sich frei im Messingrohre E bewegen kann. Um dieses Rohr ist eine Spule von 30 m langem und 1.5 mm dickem isoliertem Kupferdrahte gewunden. Der Eisenkern F stößt bei der Aufwärtsbewegung gegen eine Schraube G, durch welche die mit dem Kern F verbundene Stange H hindurch geht, welche mittels

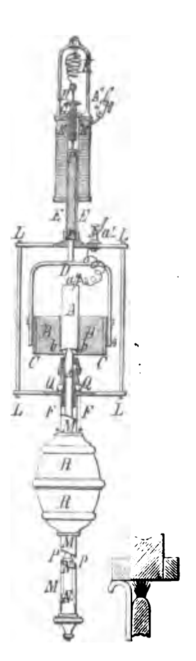


Fig. 277 a. Fig. 277 b.

einer Feder K an einem Bügel aufgehängt ist; durch diese Schraube kann der Hub des Kernes früher oder später begrenzt werden. Das Solenoid erhält den Strom durch die Klemme A″ und derselbe geht durch das Messingrohr E nach dem Bügel D nach dem Gestell des positiven Kohlenhalters. Die positive Kohle A′ gleitet in einer langen Kupferhülse M, deren unterer Teil in der Hülse M steckt, welche mit zwei Federn versehen ist, die gegen das innere Rohr pressen. Diese Hülse wird von zwei feinen Ketten F F getragen, welche über die Rollen Q gehen und mit dem Gegengewichte R verbunden sind, das auf der Hülse M gleitet. Das obere Ende der Kohle A′ geht durch ein dicht anschließendes Nickelrohr, welches nur das zugespitzte Ende des Kohlenstabes austreten läßt, so daß dieser Stab nur entsprechend seinem Abbrande vom Gewichte R gehoben wird.

Die Wirkungsweise der Lampe ist folgende:

In der Stellung Fig. 277 a, wo der Strom eben in die Lampe eintritt, beginnt die Wirkung des Solenoids, wobei dasselbe den Eisenkern samt der negativen Kohle hebt, bis die Schraube G den Hub hindert. Der Bogen geht von der positiven Kohle nach der negativen, welche sich rasch erhitzt, so daß ihre ganze untere Fläche leuchtend wird. Um Stetigkeit im Bogen zu erhalten ist die positive Elektrode aus einem sogenannten Kohlendochte gebildet, welcher aus einer röhrenförmigen mit Kohle gefüllten Kohle besteht. Bei dieser Art Kohlenstifte stellt sich der Bogen stets axial zur cylindrischen Öffnung. Der feuerfeste Cylinder B dient zur Kühlung der obern Kohle und verhütet deren ungleichmäßige Abnutzung. Um den nach unten geworfenen Schatten des Gewichtes R zu vermeiden, sollte dasselbe oberhalb der Kohlen angebracht werden. Im übrigen empfiehlt sich diese Lampe durch ihre einfache Einrichtung.

137. Was ist über das Prinzip und die Konstruktion der Widerstandsglühlampen zu bemerken?

Die Widerstandsglühlampen beruhen auf der Erscheinung, daß der elektrische Strom bei seinem Durchgange durch einen schlechten Leiter diesen nach Maßgabe der Stromstärke und des Widerstandes erwärmt und eventuell dadurch zum Glühen bringt. Auf Grund dieser Thatsache wurden zuerst elektrische Lampen konstruiert, deren Lichteffekt auf dem Glühen eines vom Strome durchlaufenen Platindrahtes oder einer Platinlamelle beruhte. Später benutzte man zu demselben Zwecke Kohlenstäbe, bis man endlich dazu gelangte, durch

einen besondern Prozeß sehr harte und feine Kohlenfäden herzustellen und derartig in einen möglichst luftleer gemachten Glasballon einzuschließen, daß dieselben beim Glühen unzerstört blieben und ein stetiges Licht ausstrahlten.

Die wichtigsten Formen dieser Glühlampen sind: 1) die Edison-Lampe (Fig. 278); 2) die Swan-Lampe (Fig. 279); 3) die Maxim-Lampe (Fig. 280); 4) die Lane-Fox-Lampe (Fig. 281).

Diese Lampen sind für die Beleuchtung von Theatern, Sälen, Zimmern u. s. w. besonders geeignet, jedoch hat man dieselben auch zur Straßenbeleuchtung bereits angewendet; sie lassen sich in der Lichtstärke leicht regulieren, ergeben ein sehr ruhiges, mildes Licht

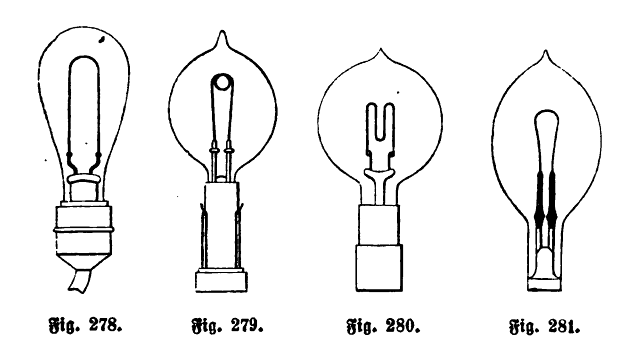


Fig. 278. Fig. 279. Fig. 280. Fig. 281.

und sind mit Strömen von niedriger Spannung zu betreiben. Große Sorgfalt ist bei diesen Lampen auf die Herstellung des luftdichten Schlusses an den Ausgangsstellen der mit dem Kohlenfaden verbundenen Platinelektroden zu verwenden. Zu dem Zweck sind von den Erfindern verschiedene sinnreiche Anordnungen getroffen worden, welche mit einen Hauptunterschied dieser Lampen bilden. Der. Verschluß wird bei den meisten Lampen durch Einschmelzen eines Glasstöpsels bewirkt, jedoch hat man auch statt dessen einen sorgfältig eingeschliffenen Glasstöpsel angebracht, welcher herausgenommen werden kann, wenn der Kohlenfaden zu erneuern ist. Über diese Lampen sind gelegentlich der elektrischen Ausstellung in Paris folgende Resultate erhoben worden:

die schwächere im entgegengesetzten Sinne durchfließt und deren Wirkung teilweise oder ganz aufhebt, wodurch natürlich auch der in die äußere Leitung übertretende Stromteil der stärkern Maschine im Verhältnis zur Differenz der elektromotorischen Kräfte der beiden Maschinen abgeschwächt wird.

Hinsichtlich des ökonomischen Wertes der elektrischen Beleuchtung hat man aber nicht bloß danach zu fragen, wie viele Pferdestärken zum Betriebe der Lichtmaschine, resp. wie viele Kilogramme Kohlen zur Unterhaltung einer gewissen Anzahl elektrischer Lichter nötig sind, sondern auch, wie viel Licht erzeugt wird und ob es möglich ist, eben so viel Licht (beziehentlich auch Wärme) auf andere Weise in einem eben so kleinen Raume zu konzentrieren, wie man dies mit Anwendung der Elektrizität vermag.

Eine gute Dampfmaschine verbraucht per Pferdestärke Nutzleistung stündlich nicht über 1 kg Kohlen, und mit diesem Kraftaufwande ergiebt eine Gramme-Maschine eine Leuchtkraft von 800 Kerzen in Bogenlampen, eine Edison-Maschine eine Leuchtkraft von 150 Kerzen in Glühlampen (8 bis 10 Lampen à 16 Kerzen). Wird dagegen die Kohle zur Gaserzeugung verwendet, so ergiebt 1 kg Kohle ungefähr 0.28 cbm Leuchtgas, welche Gasmenge beim Verbrennen nur 25 Kerzen Lichtstärke per Stunde produziert.

139. Welche Eigenschaften soll der zum Betrieb einer Lichtmaschine dienende Motor besitzen?

Man verlangt von einem solchen Motor ganz besonders einen gleichmäßigen Gang, daher muß derselbe die nötige Stärke reichlich besitzen und mit einer genügend empfindlichen, selbstthätig sich regulierenden Steuerung versehen sein. Ganz besonders werden dazu zwei- und selbst dreicylindrige Dampfmaschinen mit im Kreise symmetrisch verteilten Kurbeln an einer Betriebswelle empfohlen; ganz vorzüglich hat sich auch der Ottosche Gasmotor in dieser Beziehung bewährt.

140. Welche Regeln sind bei der Anlage der Leitungen (Drähte oder Kabel) zu befolgen?

Die Leitungskraft der Drähte oder Kabel soll das Doppelte von derjenigen betragen, welche zur Speisung der Lampen nötig ist. Die Leitungen müssen gut isoliert sein, und der Abstand sowohl der einzelnen Leitungen unter sich, als auch von anderen leitenden Gegenständen soll für Glühlichtlampen, d. i. bei Strömen von

er einen oder der andern Klasse noch aus einander, denn während eitens einer Anzahl namhafter Elektriker den ersteren ein größerer Nutzeffekt beigelegt und eine zweckmäßigere Art der Lichterzeugung nachgerühmt wird, wird von anderer, nicht weniger kompetenter Seite den Wechselstrommaschinen größere Einfachheit (wegen Wegfalls des Kommutators), die Unempfindlichkeit gegen Schwankungen im äußern Widerstande, sowie Dauerhaftigkeit und ökonomischer Betrieb nachgerühmt.

Werden die Elektromagnete einer Dynamomaschine durch eine kleinere Hülfsmaschine derselben Klasse erregt, so wird die oben erwähnte Empfindlichkeit des Lichtgenerators beseitigt und der Betrieb erfolgt unter denselben günstigen Umständen, wie mit der Magnetmaschine. Übrigens ist der wirksame Magnetismus einer solchen Maschine hauptsächlich abhängig nur von der Anzahl der Drahtwindungen um ihre Magnetschenkel.

Die Arbeitskraft der Dynamomaschine wird ausgedrückt durch die Formel:

$$A = c J^2 W = c J E,$$

worin (nach Kohlrausch) c = 0.00181, wenn die Arbeitskraft in Pferdestärken, die elektromotorische Kraft in Daniells-, die Widerstände in Siemens-Einheiten, die Stromstärke in Daniells-, dividiert durch Siemens-Einheiten, ausgedrückt werden.

Jenachdem man die Spannung oder die Quantität des Stroms stärker haben will, als dies mit einer Maschine zu erreichen ist, wird man zwei oder auch mehr Dynamomaschinen mit einander, hinter einander oder neben einander verbinden. Die erstere Verbindungsweise, durch welche man einen Strom von höherer Spannung d. i. von größerer elektromotorischer Kraft erhält, illustriert Fig. 282; die zweite Verbindungsweise, durch welche ein Strom von größerer Stromstärke oder Quantität erhalten wird, ist in Fig. 283 dargestellt. Bei dieser zweiten Schaltung müssen die elektromotorischen Kräfte beider Maschinen gleichgroß sein, weil sonst bei einer gewissen Größe des äußern Widerstandes der Strom der stärkern Maschine

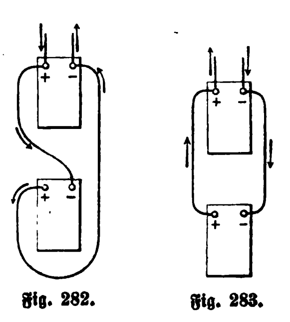


Fig. 282. Fig. 283.

besser ist es jedoch, die Stromregulierung durch den Strom selbst ausführen zu lassen.

Was insbesondere die Beseitigung der Stromschwankungen anbelangt, welche durch die starke Empfindlichkeit der Maschine gegen kleine, rasch vorübergehende Veränderungen im äußern Widerstande verursacht werden, so schaltet Siemens bei seinen Dynamomaschinen die mit außergewöhnlich starken Widerstandsspulen ausgerüsteten Elektromagnete in eine Zweigleitung des Induktors ein, so daß, wenn der Widerstand in der äußern Leitung abnimmt, die Elektromagnete proportional schwächer werden und umgekehrt.

Ferner bedient sich Siemens zur Regulierung schwacher Ströme des in Fig. 284 illustrierten Apparats, dessen Konstruktion die

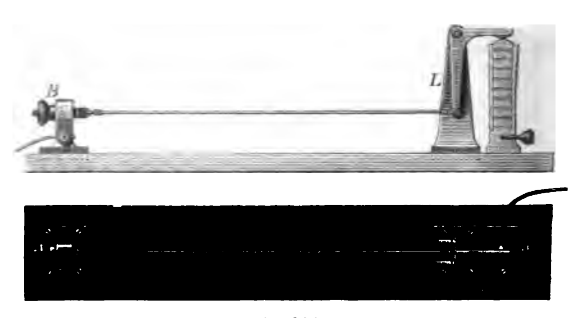


Fig. 284.

folgende ist: Zwischen einer Stellschraube B und einem Winkelhebel L ist ein Stahldraht von etw 0.3 mm Durchmesser ausgespannt, so daß der Hebel mit seinem freien Ende auf eine Säule C aus Graphitscheibchen drückt, die sich in einer verticalen Glasröhre befinden. Dieser Druck repräsentiert den Minimalwiderstand, welchen der durch Draht, Hebel und Kohlensäule hindurchgehende Strom zu überwinden hat. Wird der Strom stärker, so erwärmt sich der Draht mehr und mehr und dehnt sich infolgedessen entsprechend aus, wodurch der Druck auf die einen Rheostaten bildende Kohlensäule geringer wird, so daß die einzelnen Scheibchen in weniger dichter Berührung sich befinden und der Strom daher einen stärkern Widerstand beim Durchgange durch die Säule zu überwinden hat, also die Stromstärke demgemäß geschwächt wird.

Zur Regulierung stärkerer Ströme ist der Apparat so eingerichtet, aß auf ähnliche Weise anstatt der Kohlensäule bei wachsender Stromstärke allmählich mehr und mehr Widerstandsspiralen aus Neusilberdraht in den Stromkreis eingeschaltet werden, so daß dadurch die Stromstärke ebenfalls innerhalb gewisser Grenzen eingeschlossen bleibt.

Für den Fall, daß die Elektromagnete der stromgebenden elektrischen Maschine durch eine besondere dynamoelektrische Hülfsmaschine erregt werden, läßt sich der von Maxim konstruierte Stromregulator benutzen, dessen Wirkungsweise darauf beruht, daß die Kollektorbürsten der Hülfsmaschine mittels eines vom Strome erregten, auf einen Hebel wirkenden Elektromagnets kontinuierlich zum Kollektorcylinder verstellt werden. Jenachdem die Bürsten sich auf diese Weise der neutralen Zone des Kollektors nähern, wird der Strom schwächer, dagegen desto stärker, je mehr die Bürsten nach der Stelle rücken, wo am Kollektor die Maximalerregung stattfindet.

142. Welchen Zweck haben die Umschalter und wie ist deren Einrichtung?

Die Umschalter haben den Zweck, bei plötzlicher Stromunterbrechung einen entsprechenden Widerstand in den Stromkreis einzuschalten, so daß die Tourenzahl der Lichtmaschine eine gewisse Grenze der Geschwindigkeit nicht überschreiten kann. Der Siemenssche selbstthätige Umschalter ist so eingerichtet, daß bei zufälliger Stromunterbrechung ein in den Stromkreis der Lampenkohlen eingeschalteter kleiner Elektromagnet seine Kraft verliert und demzufolge seinen Anker losläßt, der durch eine Feder einen Kontakt schließt und damit den Strom durch einen Nebenschluß führt, welcher eine Widerstandsspirale erhält, um den Strom in gleicher Stärke fortdauern zu lassen.

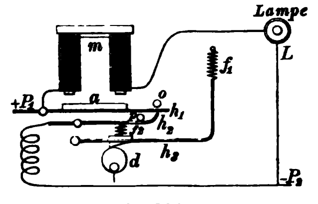


Fig. 285.

Fig. 285 illustriert schematisch den Umschalter von Sawyer, der für Glühlichtlampen bestimmt ist und unterhalb jeder Lampe in einem Gehäuse angebracht wird. Der zu dem Elektromagnet m gehörige Anker a sitzt am Hebel h_1; außerdem sind noch die

Hebel h_2 und h_3 vorhanden; d ist eine drehbare exzentrische Scheibe, mit welcher der Hebel h_3 mehr oder weniger gehoben werden kann; während h_3 durch die Spiralfeder f_2 nach unten gedrückt wird, wird h_2 durch die isolierte Feder f_1 nach oben gedrückt; o p sind Anschlagstifte für die betreffenden Hebel und W ist eine Widerstandsspirale. In der abgebildeten Stellung stützt sich h_1 gegen o und h_2 gegen p, dagegen ist h_2 außer Berührung mit h_1; ferner steht h_3 mit der Scheibe d, aber nicht mit h_1 in leitender Verbindung, daher geht der Strom von P_1 über den Magnet m durch die Lampe L nach P_2 und wirkt mit voller Stärke auf die Lampe. Wird aber die Exzenterscheibe d etwas nach rechts gedreht, wobei sie mit h_3 in Kontakt bleibt, aber sich senkt und bei k mit h_1 in Kontakt kommt, so geht der Strom von P_1 durch h_1 über h_3 und d nach P_1 und bei der mittlern Stellung von d ist die Lampe ausgeschaltet. Wird dagegen die Scheibe d noch weiter nach rechts gedreht, so daß ihr Kontakt mit h_3 aufgehoben wird, so verzweigt sich der Strom von P_1 über m L nach P_2 und von P_2 über h_1, h_2, W nach P_2, so daß dadurch das Licht der Lampe je nach der verhältnismäßigen Größe des Widerstandes gedämpft werden kann. Dieser Umschalter wirkt auch selbstthätig, indem bei der Stromunterbrechung in der Lampe der Hebel h_1 sich bis zur Berührung mit h_2 senkt, so daß der Strom von P_1 durch h_1, h_2, W nach P_2 geht.

143. Auf welche Weise kann die Teilung des elektrischen Lichtes ausgeführt werden und was ist über die hauptsächlichsten Lichtteilungsmethoden und Beleuchtungssysteme zu bemerken?

Die Teilung des elektrischen Lichtes kann durch die Maschine selbst, d. i. durch Partialströme erfolgen, wobei von jedem einzelnen Stromkreise nur eine Lampe oder doch nur eine geringe Anzahl Lampen gespeist wird, oder sie kann durch Einschaltung aller Lampen in einem Stromkreise, durch sogenannte Stromderivation, ausgeführt werden.

Die erstere Methode der Lichtteilung, welche auf der Stromteilung beruht, erfordert mit Bezug auf Bogenlampen viel weniger stark gespannte Ströme als die zweite Methode bei derselben Lampenzahl. Im Vergleich zum Betriebe von Einzellichtern in besonderen Stromkreisen bietet dagegen die Methode der Stromderivation den Vorteil, daß jede einzelne Lampe regulierend auf die andere einwirkt, indem unter gleichzeitiger Erhöhung der Stromstärke für jede

inzelne Lampe die übrigen als Widerstände auftreten, wodurch ein uhigeres und sichereres Licht erhalten wird. Übrigens ist für die ichtteilung durch Partialströme mit Bezug auf eine bestimmte zu peisende Lampenzahl auch mehr Leitungsmaterial nötig, als wenn ie Teilung durch Stromderivation erfolgt.

Über die wichtigsten Beleuchtungssysteme ist folgendes zu bemerken:

1) System Siemens. Beruht auf der Verwendung von Differentiallampen; es hat dieses System insbesondere zur Beleuchtung von Fabriklokalen und Bahnhöfen eine ausgedehnte Verwendung gefunden. So ist z. B. aufzuführen die Beleuchtungsanlage des neuen Anhaltschen Bahnhofs in Berlin, welche Fig. 286 schematisch illustriert. Jeder der vier Perrons der 150 m langen, 62.5 m breiten und 29 m hohen Bahnhofshalle ist mit vier Differentiallampen in je einem Stromkreise und ebenso der Kopfperron mit

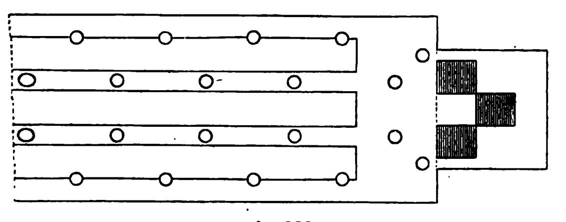


Fig. 286.

vier Lampen, die in Trapezform angeordnet sind, erleuchtet. Die Lampen der Perrons sind 30 m von einander entfernt und 6.5 m hoch, in alternierender Anordnung aufgehängt. Als Motoren dienen zwei fünfzehnpferdige Dampfmaschinen, welche drei Wechselstrommaschinen betreiben, von denen jede mit einer magnetisierenden Hülfsmaschine verbunden ist. Jedes dieser drei Maschinenpaare speist zwei Stromkreise; zur Rückleitung wird eine gemeinsame Erdleitung, die in einem Kanale versenkt ist, benutzt. Ein Generalumschalter ermöglicht die Benutzung jedes beliebigen Stromkreises (von denen vorläufig nur fünf benutzt werden) für die eine oder die andere Lampenreihe. Auf jede Lampe kommen 390 qm zu beleuchtende Bodenfläche. Die Gesamtkosten der Anlage ohne Dampfmaschinen stellen sich auf 27 093 Mark.

Bei der mit zehn Siemensschen Differentiallampen ausgeführten Beleuchtung des Düsseldorfer Bahnhofs erfolgt der Betrieb mit

einem achtpferdigen Gasmotor und die stündlichen Betriebskosten einer Lampe belaufen sich auf 32.2 Pfennige.

Auf dem Elberfelder Bahnhofe, der mit einem Maschinenpaare durch sechs Lampen beleuchtet wird, und wo zum Betriebe eine Dampfmaschine dient, kostet die Unterhaltung der Lampe stündlich nur 24.7 Pfennige.

Als andere ähnliche Beleuchtungsanlagen sind zu nennen: Der Südbahnhof in Wien mit zwei Maschinenpaaren und siebzehn Lampen; der Bahnhof in Hannover mit zwei Maschinenpaaren und achtzehn Lampen; der östliche Berliner Stadtbahnhof mit zwei Maschinenpaaren und zwölf Lampen; der Münchener Zentralbahnhof mit sechs Maschinenpaaren und fünfundzwanzig Lampen.

Fig. 287 und 288 illustrieren die Form der Siemensschen Lampen, welche in London zur Beleuchtung von großen Plätzen und Straßen Anwendung gefunden haben. Die größeren Lampen (Fig. 288) sind in einer Höhe von etwa 24 *m* an eisernen Masten aufgehängt; sie sind mit dem Siemensschen Pendelregulator versehen, haben 3000 bis 6000 Kerzen Leuchtkraft und ihr Licht wird durch einen Reflektor nach unten geworfen. Jede dieser Lampen wird mittels einer besondern Dynamowechselstrommaschine betrieben.





Fig. 287.

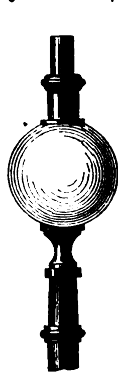


Fig. 288.

Die zur gewöhnlichen Straßenbeleuchtung dienenden Lampen (Fig. 288) sind in einer Milchglaskugel eingeschlossen und haben 300 Kerzen Leuchtkraft. Sie sind auf den Gaslaternenträgern in 5 bis 6 m Höhe angebracht. Vierzehn solcher Lampen werden mit einer Siemensschen Wechselstrommaschine betrieben.

2) System Gülcher. Die Schaltung der Gülcherlampen (Fig. 289 und 290) erfolgt zwischen parallelen Stromleitungen von einer Maschine aus. Die Lampe A wird zuerst angezündet und erst wenn sie stetig brennt wird der Strom der zweiten Lampe B

und hierauf nach kurzer Zeit auch der dritten Lampe C und so weiter zugeführt. Die einzelnen Lampen unterstützen sich gegenseitig in ihrer Regulierung. Damit der Widerstand im ganzen Stromkreise gleich groß ist, beträgt der Querschnitt des untern Leitungsdrahtes zwischen A und B zwei Drittel vom Querschnitte der Hauptleitung, ferner der Querschnitt des Drahtes zwischen B und C nur ein Drittel des letztern Querschnittes. Im obern Leitungsdrahte sind diese Querschnittsverhältnisse umgekehrt angeordnet. Fig. 289 zeigt im Diagramm diese Art der Schaltung und Stromverteilung für zwölf in einem Stromkreise befindliche Gülcherlampen.

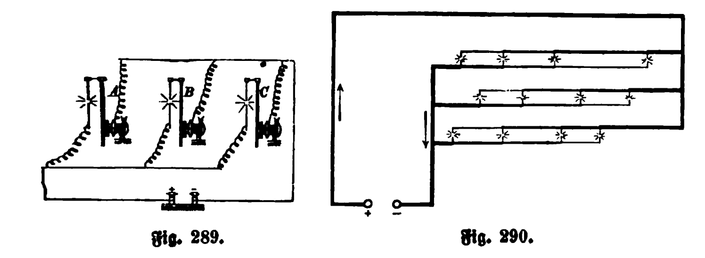


Fig. 289. Fig. 290.

3) System Jablochkoff. Hierzu wird anstatt der früher verwendeten Grammeschen oder Siemensschen Wechselstrommaschine eine besondere, von Jablochkoff selbst konstruierte Maschine benutzt, von welcher eine große Anzahl einzelner Partialströme erhalten werden kann, in deren jeden nur eine geringe Anzahl Lampen eingeschaltet ist, um nicht zu hohe Spannungen zu erhalten. Jede Laterne ist mit vier Kerzen versehen, welche nacheinander zum Brennen gebracht werden, indem nur eine Kerze auf einmal brennt. Diese Anordnung ist für eine sechsstündige Brennzeit nötig, indem eine Kerze nur anderthalb Stunden aushält.

4) System Brush hat eine ziemlich ausgedehnte Anwendung in Amerika und England gefunden und hat sich die Beleuchtung mit derselben nicht teurer als mit Gas gestellt. Fig. 291 S. 294 zeigt die Form der dazu benutzten Lampen. In London ist die Beleuchtung mittels zweiunddreißig solcher Lampen von Surrey nach der Blackfriars Bridge mit etwa 6000 m Leitungslänge hergestellt, wobei der Betrieb mit einer Brush-Maschine erfolgt, die zweiunddreißig indizierte Pferdestärken erfordert.

Eine interessante Reihe von Versuchen wurden 1881 mit der Sechzehnlichtmaschine Brushs zu Cleveland, Ohio, ausgeführt, wobei sechzehn Brush-Lampen gewöhnlicher Konstruktion in einem Stromkreise von 100 Fuß engl. von Kupferdraht Nr. 10 betrieben wurden. Die mittlere Geschwindigkeit der Maschine betrug 770 Touren pro Minute. Um die Potentialdifferenz zwischen den Lampenklemmen zu bestimmen wurden nach Fig. 292 die Lampen L^1—L^{16} (in der Figur sind nur fünf Lampen angegeben) in einem Stromkreise hintereinander mit der Maschine M verbunden; B ist eine Daniell-Batterie von 48 Elementen und G ein Galvanometer. Mittels eines Kommutators konnte augenblicklich eine beliebige Anzahl der Elemente bis zu 48 in den Stromkreis des Galvanometers und der zu untersuchenden Lampe eingeschaltet werden. Die Geschwindigkeit der

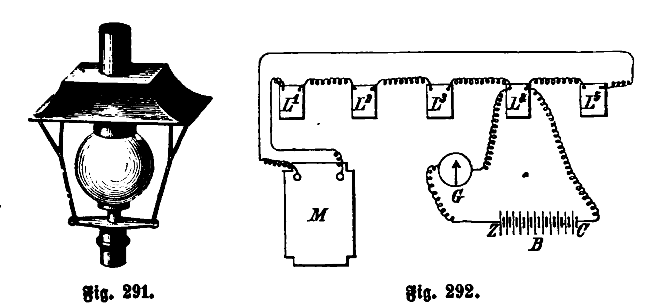


Fig. 291. Fig. 292.

Maschine war so reguliert, daß alle Lampen mit möglichst gleicher Bogenlänge brannten. Aus der Anordnung ist ersichtlich, daß, wenn die Potentialdifferenz zwischen den Klemmen der Lampe größer ist, als zwischen den Klemmen der Batterie, ein dem Batteriestrome entgegengesetzter Strom durch die Batterie geschickt wird, während, wenn die Potentialdifferenz zwischen den Batterieklemmen größer ist, als zwischen den Lampenklemmen, ein entgegengesetzter Strom durch das Galvanometer geht, was der Ausschlag der Nadel anzeigt. Ist die Potentialdifferenz zwischen beiden Klemmenpaaren gleich, so tritt keine Ablenkung der Galvanometernadel ein. Es wurden also so viel Batterieelemente eingeschaltet, bis die Nadel im Nullpunkte stehen blieb. Auf diese Weise wurde die mittlere Potentialdifferenz zwischen den Lampenklemmen bei 770 Touren der Maschine zu $42._{46}$ Daniells gefunden.

Auf ähnliche Weise bestimmte Brush den mittlern Widerstand seiner Lampen. Um dies auszuführen wurde (nach Fig. 293) eine Lampe durch einen Widerstand aus etwa 350 k dickem Drahte ersetzt, dessen Widerstand so reguliert war, daß der Strom von 42 Daniell-Elementen die Potentialdifferenz zwischen den Enden des Drahtes bei 770 Touren der Maschine ausglich. M ist wieder die Maschine; L1, L2, L3, L4 sind vier der sechzehn Lampen und die Lampe L4 ist durch den Widerstand R ersetzt; B ist die Batterie und G das Galvanometer. Der Widerstand fand sich zu 4.5 Ohm. Durch sorgfältige Versuche ergab sich der Widerstand der Maschine zwischen Klemmen bei der angegebenen Geschwindigkeit zu 10.55 Ohm. Dies zu dem Widerstande der sechzehn Lampen addiert ergiebt 83.5 Ohm Gesamtwiderstand, wovon 87.3 Proz. auf die Lampen kommen, wonach also der Wirkungsgrad der Maschine 87.3 Proz. ist.

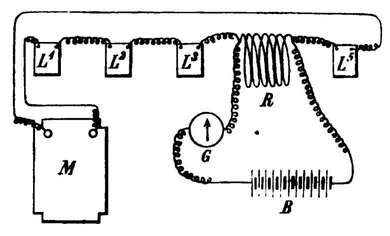


Fig. 293.

5) System Edison ist zur Straßen- und Zimmerbeleuchtung bedeutend ausgebildet worden. Fig. 294 zeigt eine zu Salonbeleuchtung geeignete Verbindung von drei Edison-Lampen. Auch transportable Lampen sind von Edison konstruiert worden. Um das Licht beliebig regulieren zu können wird der in Fig. 295 S. 296 dargestellte Kohlenrheostat benutzt, mittels dessen der Strom durch Kohlenstäbchen von verschiedenem Querschnitt geleitet werden kann, die den zur Regulierung der Stromstärke geeigneten Widerstand bilden. Der Apparat ist mit einem durchlochten Mantel von Messingblech umgeben, welcher die durch den Widerstand entwickelte Wärme entweichen läßt. Durch Drehung einer Scheibe wird eine Kontaktfeder mit dem einen oder dem andern Kohlenstäbchen in


Fig. 294.

Berührung gebracht, Fig. 296 zeigt diesen Kohlenrheostat in Verbindung mit einer Wandlampe.

Fig. 297 zeigt eine neue Methode der Schaltung von Edison-Lampen, wodurch in Zweigleitungen mehrere Lampen, deren Leuchtkraft je nach der Dichtigkeit der darin befindlichen Kohlendrähte verschieden ist, eingeschaltet werden. Durch die zunehmende Dichtigkeit der Kohlendrähte wird deren Leitungsfähigkeit vergrößert, ihr Widerstand also verringert, so daß die eine Lampe im ersten Zweigstrome durch dasselbe Kraftäquivalent zum Leuchten gebracht wird, wie die zwei Lampen im zweiten und die drei Lampen im dritten Zweigstrome. Um die Kohlendrähte mehr oder weniger dicht zu machen, werden

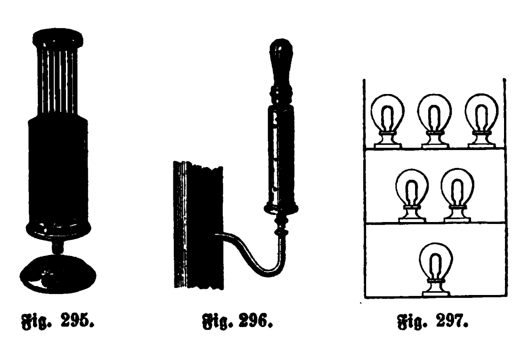


Fig. 295. Fig. 296. Fig. 297.

dieselben mehr oder minder oft in Syrup eingetaucht und einem Glühprozesse unterworfen.

Eine, von Edison in Vorschlag gebrachte Stromregulierungsmethode besteht darin, daß in den Stromkreis der Elektromagnete der elektrischen Betriebsmaschine eine magnetelektrische Gegenmaschine M (Fig. 298) von geringem Widerstande eingeschaltet wird, welche dem Feldstrome des Elektromotors entgegenwirkt und somit als variabler Widerstand dient. Auf der Welle dieser Gegenmaschine sitzt eine Kupferscheibe C, welche zwischen den Polarmaturen eines in den Feldstrom des Elektromotors E, sowie auch in den nach den Lampen L L führenden Stromkreise eingeschalteten Elektromagnets m rotiert. Wenn keine Lampe im Stromkreise vorhanden ist, so fällt der Gesamtwiderstand des äußern Stromkreises durch m und M verhältnismäßig groß aus und der Elektromagnet m

wird nur schwach erregt, so daß die Scheibe C beim Durchschneiden der Kraftlinien des magnetischen Feldes zwischen den Polen von m nur geringen Widerstand erfährt, und somit die mit großer Geschwindigkeit laufende Gegenmaschine eine starke elektromotorische Gegenkraft in den Stromkreis der Elektromagnete des Elektromotors E schickt, wodurch die Stromstärke vermindert wird.

Ein fernerer Teil der Edisonschen Erfindung besteht darin, daß bei dem Einschalten einer oder mehrerer Lampen in den Stromkreis die Stromstärke des Elektromotors selbstthätig vergrößert wird. In Fig. 299 ist die Generatorspirale mit der Hauptleitung 1, 2 verbunden, zwischen der sich Gruppen mehrfacher Zweigleitungen 5, 6

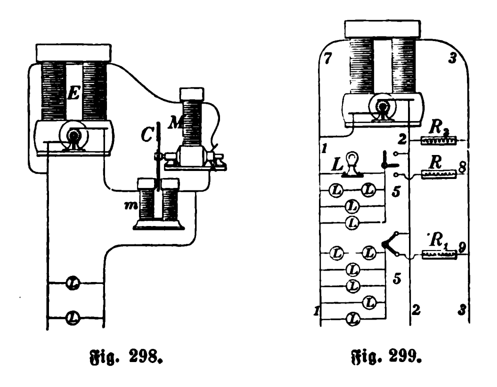


Fig. 298. Fig. 299.

befinden, welche die Lampen L enthalten. Die Spiralen der Feldmagnete sind einerseits durch einen Draht 7 direkt mit dem einen Hauptleiter in Verbindung gesetzt, während andererseits ein Draht 3 direkt nach der entferntesten Gruppe führt; von diesem Drahte 3 gehen Zweigleitungen 8 und 9 nach jeder Gruppe und in jeder dieser Zweigleitungen ist ein Widerstand R oder R^1 eingeschaltet. Wenn der Schalter für den Stromkreis 5 geschlossen ist, werden gleichzeitig die Feldmagnete in geeigneter Weise erregt. Wenn die zweite Gruppe 6 geschlossen ist, so wird der Gesamtwiderstand des Feldstromes wiederum reduziert und der um die Magnete zirkulierende Strom verstärkt. Der obere Schalter ist in offener, der untere in geschlossener Stellung zu sehen. Im erstern Falle ist der Draht 8 nicht mit dem Drahte 2 verbunden. R^2 ist ein Widerstand, durch

welchen ein genügend starker Strom fließt, um unter allen Umständen eine gewisse Stromstärke den Feldmagneten zuzuführen.

Neuerdings hat Edison die in Fig. 300 abgebildete verbesserte Stromregulierung in Vorschlag gebracht. Die Abbildung zeigt Lampengruppen, die in vervielfachten Bogen in die Zweige der Hauptleitung 1 und 2 eingeschaltet sind. In jedem Zweigpaar befindet sich ein Elektromagnet B mit der Armatur f. Der Feldstrom ist im Nebenschluß von der Hauptleitung mit den Widerständen R, R_1 und R_2, von denen einer für jede Zweigleitung wirksam ist. Um diese Widerstände sind Nebenschlüsse b, e, d nach den Armaturhebeln f und deren Kontakten i vorhanden, durch deren Öffnen oder Schließen mittels der Elektromagnete B die Kraft der Feldmagnete vermindert oder verstärkt werden kann. Der Apparat

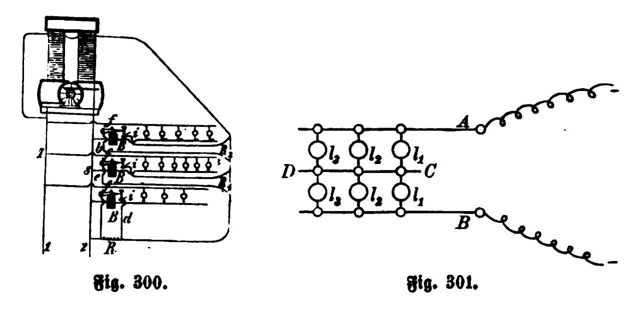


Fig. 300. Fig. 301.

arbeitet in der folgenden Weise. Wenn zu wenig Lampen im Stromkreise sind, um die Magnete zu befähigen ihre Armaturen anzuziehen, so fließt der Minimalstrom durch den Feldstromkreis; nachdem aber in einer gewissen Gruppe (z. B. im Stromkreis 7 und 8) die Zahl der Lampen um ein Gewisses vermehrt worden ist, wird der Magnet der Gruppe genügend erregt, um seine Armatur anzuziehen und den Stromkreis zu schließen. Dieselbe schaltet den Widerstand R_1 aus dem Stromkreise aus und verstärkt dadurch den Feldmagnet so, daß derselbe die Lampenzahl der Gruppe zu speisen vermag.

6) System Swan. Dieses System trat zum ersten mal besonders effektvoll bei der Beleuchtung im neuen Hause der Großen Oper in Paris auf, wo der große Zentralkronleuchter mit sechshundert Swan-Lampen von je zwanzig Kerzen Leuchtkraft in drei Reihen versehen war. Fig. 301 zeigt die Schaltungsweise dieser

Lampen, die zu hundert Paaren in einem Stromkreise sich befinden; jedes Paar l_1 bis l_3 ist in einer Zweigleitung eingeschaltet. A und B sind die beiden mit der Maschine verbundenen Hauptleitungsdrähte; C D ist ein die Zweigleitungen in der Mitte verbindender dritter Draht, welcher bewirkt, daß bei dem Verlöschen einer Lampe die andere, mit ihr paarweis verbundene noch den zu ihrer Unterhaltung nötigen Strom zugeführt erhält, was nicht der Fall sein würde, wenn die mittlere Drahtleitung nicht vorhanden wäre.

7) System Maxim. Dieses sehr ausgebildete Glühlampensystem hat neuerdings für mehrere Pariser Theater mit Erfolg Verwendung gefunden. So werden bei einer von der Compagnie Générale d'Électricité in Paris ausgeführten Beleuchtungsanlage

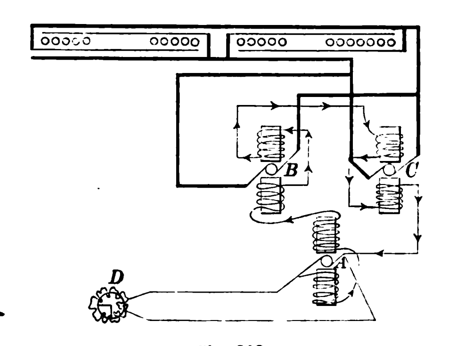


Fig. 302.

hundert Maxim-Lampen durch drei Gleichstrommaschinen gespeist, von denen die eine die beiden anderen erregt. Fig. 302 illustriert diese Anlage; A ist die Erregungsmaschine, deren Elektromagnete mit denen der beiden Generatoren B und C in einem Stromkreise eingeschaltet sind. Der zur Speisung der Lampen dienende Strom wird von den Bürsten der auf Quantität verbundenen Maschinen B und C abgeführt; die Stromrichtung ist durch starke Linien angedeutet, woraus zu ersehen, daß der Widerstand für jede Lampe von gleicher Stärke ist. Um die Intensität des Lichts nach Belieben regulieren zu können ist der Kommutator D mit der Maschine A verbunden. Mit dieser Einrichtung kann leicht ein Teil des durch die Elektroden der Generatoren B und C gehenden Stromes aus-

geschaltet und die Intensität des magnetischen Feldes vermindert werden, wodurch auch der nach den Lampen gehende Strom reduziert wird. Auch die Verbindung von Jablochkoffkerzen und anderen verschiedenartigen elektrischen Beleuchtungsapparaten mit Maxim-Lampen in einem Stromkreise ist von der obengenannten Gesellschaft mit Erfolg ausgeführt worden, indem dadurch den verschiedenen Ansprüchen auf Beleuchtung Genüge geleistet werden kann.

144. Wie ist die Beleuchtung mit Anwendung von Akkumulatoren einzurichten?

Eine derartige Anlage ist von der Compagnie d'Éclairage électrique zu St. Denis für die Werkstätten der Compagnie des Forges et Chaulies eingerichtet worden, wo viele Räume zu erleuchten sind, die für das elektrische Licht disponible Kraft von zwölf Pferden aber nicht ausreichte, indem mit einer Weston-Maschine nur zehn Bogenlampen von je 100 Carcels gespeist werden konnten. Die Maschine lieferte bei 900 Touren eine elektromotorische Kraft von 250 Volt und einen Strom von 20 Ampères. Um das weitere noch nötige Licht zu erhalten wird die Maschine vier Stunden lang täglich zur Speisung von achtzig Kabath-Akkumulatoren benutzt, die in zwei Reihen zu je vierzig angeordnet sind und welche dreißig Maxim-Glühlampen zu speisen haben, die an verschiedenen Orten verteilt sind. Die Weston-Maschine ist so eingerichtet, daß durch Verschiebung ihrer Bürsten der Strom in gewissen Grenzen verändert werden kann. Es war nötig, eine Anordnung zu treffen, durch welche der Strom mit der gehörigen Stärke nach den Lampen oder nach den Batterien geschickt werden konnte. Um dies zu erreichen mußte in den Ladungsstromkreis der Akkumulatoren ein Eisendrahtwiderstand eingeschaltet werden, damit die elektromotorische Kraft vermindert werden konnte; überdies ist in diesem Stromkreise ein automatischer Strombrecher eingeschaltet. Wenn die elektromotorische Kraft der Akkumulatoren höher als diejenige des Generators wird, so würde eine Entladung der Batterien stattfinden und zwar würde dies besonders in dem Moment der Inbetriebsetzung der Maschine stattfinden, wo der Strom der Akkumulatoren die Pole der Elektromagnete des Generators umkehren würde.

Fig. 303 illustriert im allgemeinen die Gruppierung der Maschine, der Akkumulatoren und der Lampen. In diesem Diagramm ist A die Dynamomaschine, BB der Stromkreis der Westonschen Bogenlampen, welcher auch das Galvanometer C und einen Zweiwegkommu-

tator D einschließt. Während des Tages ist der Kommutator so gestellt, daß der Generator sich in Verbindung mit dem Stromkreis E befindet, welcher die Kabathschen Akkumulatoren K, den Widerstand R und den automatischen Interruptor (Strombrecher) L enthält. Des Nachts sind die Bogenlampen W mit dem Generator verbunden. Die Akkumulatoren sind in den Stromkreis M eingeschaltet, welcher die Glühlampen N und den Vierzehnwegkommutator P enthält, mit welchem der Widerstand im Stromkreise mit der allmählich eintretenden Schwächung der Batterien vermindert und somit die Intensität der Glühlampen durch Handregulierung konstant erhalten werden kann. Fig. 304 illustriert die Anordnung der Lampen in

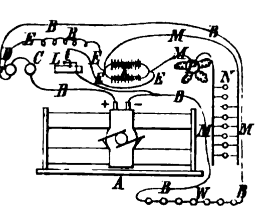


Fig. 303.

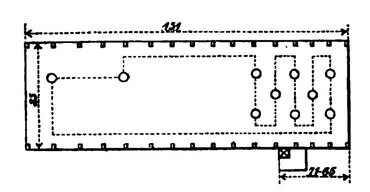


Fig. 304.

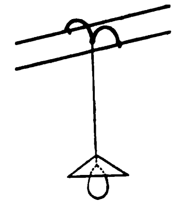


Fig. 305.

der Sägemühle der oben genannten Firma; das Gebäude ist 151 m lang und 35 m breit. Die zehn Bogenlampen befinden sich in etwa 7 m Höhe. Das Maschinenhaus befindet sich rechts in einem Ausbau. Da es bei einigen Lampen nötig ist, die Stellung des Lichtes zu verändern, so sind dieselben verschiebbar einzurichten, wie Fig. 305 darstellt.

Siebenundzwanzigstes Kapitel.

Über Lichtmessung (Photometrie).

145. Welcher Einheit bedient man sich bei der Lichtmessung?

Man benutzt hierzu Normalflammen, die auf bestimmte Weise erzeugt werden. In Deutschland wurde hierzu vom Verein für

Gas- und Wasserfachmänner eine aus reinem Paraffin hergestellte Kerze von 20 mm Durchmesser und 83.3 g Gewicht bestimmt, deren Docht aus 24 Baumwollenfäden besteht und deren Herstellung genau ausgeführt wird. Ferner sind aber auch Kerzen aus Wachs, dann die Münchenerkerze aus Stearin und noch andere in Gebrauch. In England bedient man sich einer Kerze aus gereinigtem Walrat (Spermaceti), welche 120 Grains (7.8 g) pro Stunde verzehrt. In Frankreich benutzt man die Carcellampe, d. i. eine mit durch Uhrwerk betriebenem Druckkolben und Arganbbrenner versehene Lampe, welche zur Herstellung der Normalflamme mit reinem Rüböl gespeist wird, so daß davon stündlich 42 g konsumiert werden. Alle diese Flammen sind aber nicht allein unter sich hinsichtlich der Leuchtkraft (Lichtintensität) sehr verschieden, sondern sie ergeben auch für die Versuchsdauer nicht einmal ein konstantes Licht. Es ist daher bereits 1844 von Draper, später von Fr. Zöllner und neuerdings von Schwendler vorgeschlagen worden, dasjenige Licht als Lichtmaßeinheit zu benutzen, welches ein Platindraht oder ein Platinblech von bestimmten Dimensionen ausstrahlt, wenn ein konstanter elektrischer Strom von bestimmter Stärke das Metall zum Glühen gebracht hat.

146. Welches sind die wichtigsten Lichtmessungsmethoden?

Man kann zwei verschiedene Gruppen von Lichtmessungsmethoden unterscheiden; bei der einen derselben, welche die meisten älteren Methoden in sich schließt, wird der Lichteindruck, den die zu untersuchende Lichtquelle auf das menschliche Auge hervorbringt, mit dem von einer Normalflamme herrührenden verglichen; bei den Methoden der zweiten Gruppe hingegen wird die Leuchtkraft nicht direkt gemessen, sondern als Maß irgend eine andere physikalische Eigenschaft der Lichtquelle benutzt, wobei man voraussetzt, daß diese Eigenschaft in einem einfachen Verhältnisse zur Leuchtkraft stehe. Zu diesen Methoden gehört das elektrische Photometer von Siemens, welches auf der Erscheinung beruht, daß die Leitungsfähigkeit eines Plättchens aus amorphem Selen, welches nebst einem empfindlichen Galvanometer in einen elektrischen Strom eingeschaltet ist, proportional zur Beleuchtung des Selens zunimmt, so daß hiernach die Stärke der Leuchtkraft durch die Ablenkung der Galvanometernadel bemessen werden kann.

Beim Radiometer von Crookes und beim Skalenphotometer von Zöllner wird die durch Lichtstrahlung bewirkte

Drehung eines mit einseitig geschwärzten Glimmerplättchen versehenen vierarmigen Flügelrädchens zur Bestimmung der Lichtstärke benutzt. In diese Gruppe gehören auch einige von den Gastechnikern adoptierte Apparate, welche speziell zur Messung der Leuchtkraft von Gasflammen dienen, so das Photo-Rheometer von Giroud und das Jet-Photometer von Sugg. Diese Apparate basieren auf dem Zusammenhange zwischen Flammenhöhe, Druck und Gaskonsum.

Ein anderer Apparat zur Herstellung einer Normalflamme ist das von Coglievina konstruierte Centigrad-Photometer, wobei die Lichtwirkung auf allotropen Phosphor in Betracht gezogen wurde. Anstatt dessen benutzt jedoch der Genannte neuerdings zu demselben Zweck eine einfache physikalische Erscheinung, welche darin besteht, daß jeder Lichtstrahl erfahrungsmäßig eine von der Intensität der Lichtquelle abhängige Länge hat. Hiernach verschwindet die Leuchtkraft eines Lichtstrahles in einer gewissen Entfernung von der Lichtquelle für das menschliche Auge, und zwar liegen die Grenzen dieses Verschwindens, wenigstens für normale Augen, sehr eng bei einander, so daß die Beobachtungsfehler verschwindend klein werden. Bei der Ausführung seiner Methode leitet Coglievina einen dünnen cylindrischen Strahlenbüschel von einer beliebigen regulierbaren Lichtquelle auf ein reflektierendes Glasprisma und lenkt den Strahl durch geeignete Anordnung nun nach drei anderen Prismen in einen Spiegel, in welchem der Beobachter hierdurch den Strahl als einen kleinen Kreis oder Punkt wahrnimmt. Durch Regulierung der Lichtquelle mittels einer feinen Mikrometerschraube wird dann dieser Lichtpunkt zum Verschwinden gebracht und im Moment des Verschwindens bildet die Lichtquelle die als Maßeinheit zu benutzende Normalflamme.

Die Vergleichung der zu messenden Lichtquelle mit der Normalflamme kann nach der Bunsenschen Methode ausgeführt werden, wobei zwischen dem zu untersuchenden Lichte und der Normalflamme ein Schirm aus undurchscheinendem Papier angeordnet ist, in dessen Mitte sich eine kreis- oder besser sternförmige Öffnung befindet, die mit geöltem oder feinem Seidenpapier geschlossen ist. Die beiden Flammen werden in solche Entfernungen vom Schirme gebracht, daß die transparente Stelle beiderseits gleich hell beleuchtet erscheint, wobei durch Spiegel die beiden Schirmseiten dem Auge gleichzeitig sichtbar gemacht werden.

147. Wie ist das speziell zur Messung des elektrischen Lichtes von Ayrton und Parry konstruierte Dispersionsphotometer eingerichtet?

Dieser in Fig. 306 abgebildete Apparat besteht aus einem hölzernen Kasten A B, der mit einem vierseitigen hölzernen Rohre verbunden ist. Die Verbindungsstelle ist zur Abhaltung des Lichtes mit schwarzem Tuche bedeckt. Im Kasten A B befindet sich die Normalkerze, für welche der Schornstein D dient. Diese Kerze beleuchtet einen Schirm von Zeichenpapier, während ein Schirm aus demselben Papier von dem Strahle des elektrischen Lichtes erleuchtet wird, der durch das verstellbare Rohr B C in den Kasten gelenkt und durch eine bei H befindliche dünne doppeltkonkave Glaslinse

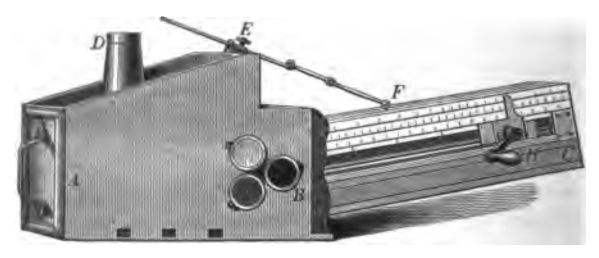


Fig. 306.

zerstreut wird. Die Bilder der beiden erleuchteten Schirme werden mittels zweier Spiegel unter genau gleichen Winkeln auf die bei B befindliche Öffnung so geworfen, daß jedes die Hälfte der Öffnung einnimmt, wobei die Durchschnittslinie der beiden Spiegel genau in der Mitte der Öffnung liegt. Bei der Messung wird die Linse H mittels eines Zahnstangentriebwerks durch Drehung einer kleinen Kurbel H im Rohre B C so lange verschoben, bis die Bilder der beiden Schirme gleich hell erscheinen, und alsdann die Intensität des elektrischen Lichtes in Normalkerzen von der am Rohre B C befindlichen Skala abgelesen. Mittels der Stange E F kann das Rohr B C unter geeignetem Winkel zum Aufnehmen der Lichtstrahlen geneigt werden. Um nötigenfalls bei geringer Entfernung des Apparates vom elektrischen Lichte dessen Intensität abzudämpfen, wird die vordere Öffnung des Rohres B C mit rotem oder grünem Glase geschlossen, wobei es geraten ist, zwei Versuche nach einander, den einen mit rotem und den andern mit grünem Glase, anzustellen.

Sechster Abschnitt.

Die elektrische Krafttransmission.

Achtundzwanzigstes Kapitel.

Die Hauptgrundgesetze der elektrischen Krafttransmission.

148. In welcher Weise ist eine elektrische Krafttransmission herzustellen?

Es werden hierbei zwei magnet- oder dynamoelektrische Maschinen derartig mit einander in Verbindung gesetzt, daß der in der einen (der Primärmaschine oder dem Elektrogenerator) durch einen gewissen, von irgend einer gewöhnlichen Betriebsmaschine gelieferten Arbeitsaufwand erzeugte elektrische Strom in die drehbare Armatur (den Anker) der andern elektrischen Maschine (der Sekundärmaschine oder des Rezeptors) geleitet und dadurch deren Welle mit einer entsprechenden Energie in Umdrehung versetzt wird. Hierdurch wird erreicht, daß die letztere Maschine eine von der eigentümlichen Kombination und Ausführung des Systems abhängige mechanische Arbeitsgröße abzugeben vermag.

Zur Herstellung einer elektrischen Krafttransmission gehören daher drei Maschinen: 1) Die Betriebsmaschine (Arbeitsspender, Anfangsmaschine), wozu irgend ein mechanischer Motor (Dampfmaschine, Gasmaschine, Wasserrad, Turbine u. s. w.) benutzt wird; 2) der Elektrogenerator (Zwischenmaschine), welche aus einer magnet- oder dynamoelektrischen Maschine besteht und welche den Zweck hat, die auf sie übertragene Drehkraft in elektrischen Strom zu verwandeln; 3) der Rezeptor (Endmaschine),

wozu ebenfalls eine magnet- oder dynamoelektrische Maschine dient, welche den ihr durch eine elektrische Leitung auf größere Entfernung zugeführten elektrischen Strom wiederum in mechanische Drehkraft zurückverwandelt und als mechanische Arbeit durch die Rotation einer Welle wirken läßt, von welcher eine der Einrichtung des Transmissionssystems entsprechende mechanische Leistung für irgend welche Zwecke des Maschinenbetriebs abgenommen werden kann.

149. In welcher eigentümlichen Beziehung stehen die zu einer Krafttransmission verbundenen elektrischen Maschinen zu einander?

Sind zwei elektrische Maschinen (Dynamomaschinen) zu einer elektrischen Krafttransmission durch einen Stromkreis verbunden, so wird bei der Ingangsetzung der Primärmaschine und der allmählichen Steigerung von deren Umdrehungsgeschwindigkeit sich sowohl die elektromotorische Kraft, wie die Stromstärke bis zu dem Augenblicke steigern, wo die entfernte Sekundärmaschine ihre Bewegung beginnt. Hierbei induziert die Primärmaschine in der Sekundärmaschine einen Gegenstrom, dessen Intensität sich so lange steigert, bis die Umdrehung der Sekundärmaschine beginnt. Die Intensität oder Stärke dieses Gegenstromes ist von der Länge und dem Querschnitt der Leitung, sowie von dem mechanischen Kraftmoment an der Sekundärmaschine abhängig, so daß derselbe um so stärker wird, je mehr der Widerstand an der Welle der Sekundärmaschine deren Umdrehung erschwert. Hat aber einmal die Umdrehung des Ankers der Sekundärmaschine begonnen, so bleibt die Stromstärke, mit welcher die Primärmaschine auf die Umdrehung der Sekundärmaschine einwirkt, unveränderlich, vorausgesetzt, daß die Primärmaschine wenigstens nahezu ihre Maximalleistung auszuüben hat. Die Tourenzahl der Sekundärmaschine wächst alsdann genau um ebensoviel, wie jene der Primärmaschine, so daß die Differenz der Tourenzahlen und damit die Differenz $E - e$ zwischen der positiven elektromotorischen Kraft E der Primärmaschine und der induzierten oder negativen elektromotorischen Kraft e der Sekundärmaschine, folglich auch die Differenz der positiven Stromstärke $E : R$ und der negativen Stromstärke $e : R$, somit die verbleibende Stromstärke $J = (E - e) : R$ (oder $J - i$) konstant bleibt. Die Arbeit der einen und andern Maschine ist das Produkt aus der Arbeit für eine Umdrehung mit der Anzahl der Umdrehungen in der Zeiteinheit; also steht der Wirkungsgrad α im Verhältnis der Tourenzahlen, deren Unterschied konstant ist. Je größer daher die Umdrehungszahlen sind, desto

größer ist der Wirkungsgrad. Der Fall ist genau so, als ob die beiden Maschinen durch einen Riemen verbunden wären, welcher derart gleitet, daß immer derselbe Unterschied der Umfangsgeschwindigkeiten der beiden Riemenscheiben vorhanden ist*).

150. Wie ist die numerische Berechnung einer solchen Transmissionsanlage auszuführen?

Es sei nach Marcel Deprez**) für eine Gramme-Maschine Modell C:

Tourenzahl pro Minute	=	1200
Stromstärke in Ampères	=	81.22
Elektromotorische Kraft in Volt . . .	=	69.9
Verbrauchte Arbeit in mkg per Sekunde	=	579
Arbeit für eine Umdrehung in mkg . .	=	29
Widerstand des feststehenden Induktors in Ohm	=	0.15
Widerstand des rotierenden Ankers in Ohm	=	0.06.

Nehmen wir nun an, daß man dem Draht des Induktors und des Ankers einen Querschnitt gleich $^1/_{50}$ des frühern gegeben hat, so kann bei Verwendung derselben Materialmenge die Drahtlänge 50 mal so groß sein als sie vorher war. Wegen fünfzigfacher Länge und $^1/_{50}$ Querschnitt wird dann der Widerstand 50 . 50 = 2500 mal größer als vorher, nämlich:

Widerstand des Induktors = 375 Ohm
Widerstand des Ankers = 150 Ohm
zusammen 525 Ohm.

Infolge der Änderung des Drahtquerschnittes und dessen Länge ändert sich aber auch die Stromstärke, und zwar behält das magnetische Feld seine Größe unverändert bei, wenn das Produkt aus der Zahl der Windungen mit der Stromstärke unverändert bleibt, gleiche Materiallänge des Drahtes vorausgesetzt. Wegen der fünfzigfachen Länge ist die Anzahl der Windungen fünfzig mal so groß, folglich die Stromstärke nur 81.22 : 50 = 1.624 Ampères und die elektromotorische Kraft = 1.624 . 1500 = 2437 Volt. Bei 1200 Touren pro Minute wäre aber die elektromotorische Kraft infolge der fünfzigmal größern Anzahl der Windungen des Drahtes

*) Professor Gustav Schmidt in Dinglers Polytechnischem Journal. Jahrgang 1882.

**) La lumière électrique. 1881.

auf dem Anker um diesen auch fünfzigmal so groß als ursprünglich nämlich = 50 . 69.9 = 3495 Volt; folglich benötigt man zu den obigen 2437 Volt nur 2437 : 3495 . 1200 = 835 Touren pro Minute. Bei dieser Geschwindigkeit ist die zu verrichtende Arbeit pro Sekunde:

$$\frac{E\,J}{g} = \frac{2437 \,.\, 1.624}{9.81}$$

oder auch

$$= \frac{835 \,.\, 29}{60} = 403 \text{ mkg},$$

bei welcher Leistung die Umdrehung der Sekundärmaschine eben beginnt, also der Wirkungsgrad noch null ist.

Bei der Sekundärmaschine beträgt die Arbeit bei 1.624 Ampères Stromstärke für eine Umdrehung ebenfalls 29 mkg, wie bei der Primärmaschine. Soll dieselbe also zehn Pferdestärken oder 750 mkg pro Sekunde entwickeln, so muß sie 750 : 29 Touren pro Sekunde oder 750 . 60 : 29 = 1592 Touren pro Minute machen, während die Primärmaschine 1552 + 835 = 2387 Touren pro Minute ausführen muß, wobei sie eine Betriebsarbeit von 2387 . 29 : 60 = 1154 mkg pro Sekunde = 15.4 Pferdestärken benötigt.

Der Wirkungsgrad ist = 10 : 15.4 = dem Verhältnis der Tourenzahlen 1552 : 2387 = 0.65 und dies ist auch das Verhältnis der elektromotorischen Kräfte e : E, deren Differenz E — e = 2437 ist.

Daher folgt aus

$$E - \frac{1552}{2387} E = 2437$$

der Wert von

$$E = 6964 \text{ Volt}$$

also

$$e = 4527 \text{ Volt},$$

folglich

$$E : R = 6964 : 1500 = 4.643$$

und

$$e : R = 4527 : 1500 = 3.019.$$

Die Differenz ist

$$J = (E - e) : R = 1.624.$$

Die von der Primärmaschine verbrauchte Arbeit ist also zur Kontrolle der frühern Bestimmung:

$$T\,a = \frac{E\,J}{g} = \frac{6964 \,.\, 1.624}{9.81} = 1153 \text{ mkg}.$$

Der Unterschied der absoluten Arbeit pro Sekunde = 1153 mkg und der an der Sekundärmaschine indizierten Arbeit = 750 mkg beträgt 403 mkg und muß in Wärme übergegangen sein, und zwar ist die entwickelte Wärmemenge als Arbeit gemessen:

$$T c = \frac{R J^2}{g} = \frac{R \, \overline{1.624}^2}{9.81} = 0.2688 \, R \text{ mkg},$$

daher in der Primärmaschine	= 525 . 0.2688	= 141	= 0.332
in der Sekundärmaschine desgleichen		= 141	= 0.332
in der Leitung	= 450 . 0.2688	= 121	= 0.286
	Summa	= 403	= 0.950.

Marcel Deprez schließt hieraus, daß es möglich sei, mit zwei identischen Maschinen (Gramme, Modell C), eine Nutzarbeit von zehn Pferdestärken auf 50 km Distanz mittels eines gewöhnlichen Telegraphendrahtes zu übertragen, wobei die Betriebskraft ungefähr sechzehn Pferdestärken betragen müsse. Dabei giebt er jedoch zu, daß der Wirkungsgrad in Wirklichkeit etwas geringer sei, infolge von Arbeitsverlusten durch Nebenströme, welche in den bewegten Metallmassen der beiden Maschinen entstehen, und durch Reibung, Vibrationen u. dgl., welche mit der großen Geschwindigkeit verbunden sind. Über die Schwierigkeit der Isolierung der großen Spannung von 6952 Volt = 6400 Daniells hofft er hinwegkommen zu können.

151. Wie hat sich die elektrische Krafttransmission unter den von Marcel Deprez angenommenen Verhältnissen in der Praxis bewährt?

Bei Gelegenheit der Münchener Elektrizitätsausstellung 1882 war zwischen München und Miesbach auf 57 km Distanz eine Krafttransmission durch Telegraphendraht von 4.5 mm hergestellt*). Der Widerstand dieser Leitung betrug 950 Ohm, der Verlust durch mangelhafte Isolierung etwa 3 Prozent. Die benutzten beiden Gramme-Maschinen waren gleich und mit sehr feiner Bewickelung versehen; der Widerstand einer jeden betrug 470 Ohm, so daß der Widerstand im gesamten Stromkreise 1890 Ohm betrug. Der mittels Turbine in Miesbach betriebene Generator machte 2200 Touren, der im Münchener Glaspalaste aufgestellte Rezeptor 1500 Touren pro Minute. Da nun die elektromotorische Kraft einer Dynamo-

*) Zentralblatt für Elektrotechnik. 1882.

maschine bei gleicher Stromstärke der Tourenzahl nahezu direkt proportional ist, so schloß Marcel Deprez, daß der Nutzeffekt 1500 : 2200 = etwa 68 Prozent sei.

Die Berechnung des Nutzeffektes aus der Tourenzahl ist aber nur dann angenähert richtig, wenn beide Maschinen vollständig gut isoliert und ganz intakt sind und wenn in der Leitung kein Stromverlust stattfindet. Dies ist aber bei Maschinen, die mit so hoher Spannung arbeiten, nicht denkbar. Es ist sogar schon vorgekommen, daß die Sekundärmaschine schneller lief als die Primärmaschine, so daß nach obiger Rechnungsweise in solchem Falle über 100 Prozent Nutzeffekt sich ergeben wird, was unsinnig ist.

Nach den vom Prüfungscomité in München durch Prof. Dr. Kittler angestellten Messungen betrug die Stromstärke im Glaspalast 0.5 Ampère, die Spannung 850 Volt. Der Widerstand der Maschine war 470 Ohm, also der Spannungsverlust in der Maschine 235 Volt, so daß also 615 Volt als elektromotorische Gegenkraft übrig blieben. Hieraus folgt die theoretische Leistung der Maschine zu:

$$L = \frac{i\,e}{9.81} = \frac{0.5 \,.\, 615}{9.81} = 31.3 \text{ mkg.}$$

Nimmt man den Verlust durch Magnetisierungsarbeit im Ringanker, durch Foucaultsche Ströme, Reibung u. s. w., zu 8 Prozent an, was bei 1500 Touren nicht zu hoch ist, so ergiebt sich die Leistung zu 28.8 mkg.

Der auf die Sekundärmaschine übertragene Effekt in elektrischem Maße ist:

850 Volt . 0.5 Ampère = 425 Volt-Ampères.

Bei der Berechnung des Verlustes in der Leitung ist zu berücksichtigen, daß infolge mangelhafter Isolierung ein Stromverlust von 3 Prozent stattfand. Es betrug sonach die Stromstärke in Miesbach 0.515 Ampères. Der Effektverlust in der Leitung berechnet sich zu:

244.9 Volt-Ampères.

Der Effekt in der Primärmaschine ist bei 470 Ohm Widerstand und 0.515 Ampères Stromstärke gleich

$(0.515)^2 \,.\, 470 = 124.9$ Volt-Ampères.

Die Primärmaschine ergiebt also einen elektrischen Effekt von

$425 + 244.9 + 124.6 = 794.5$ Volt-Ampères.

Rechnet man hierzu noch 10 Prozent für Effektverlust durch Magnetisierungsarbeit im Ringe, Foucaultsche Ströme, Reibung u. s. w., was für 2200 Touren nicht zu hoch ist, so erhält man

den vom Motor (der Turbine) auf die Primärmaschine übertragenen Effekt zu 874 Volt-Ampères oder 89.1 mkg und daraus ergiebt sich der wahrscheinliche Nutzeffekt zu 31.3 : 89.1 = 35 Prozent.

Als eine sehr interessante Thatsache ist anzuführen, daß bei Versuchen, welche 1880 in dem Etablissement von Siemens & Halske ausgeführt wurden, sich herausstellte, daß die Intensität des Magnetismus im Felde der Sekundärmaschine stärker war, als im Felde der Primärmaschine.

Dr. O. Frölich hat nachgewiesen, daß diese Erscheinung notwendigerweise eintreten muß, denn unter dem magnetischen Einflusse haben die Ströme des metallischen Kernes für die Primärmaschine dieselbe Richtung in den Armaturdrähten, für die Sekundärmaschine aber die umgekehrte Richtung, wie Fig. 307 illustriert*).

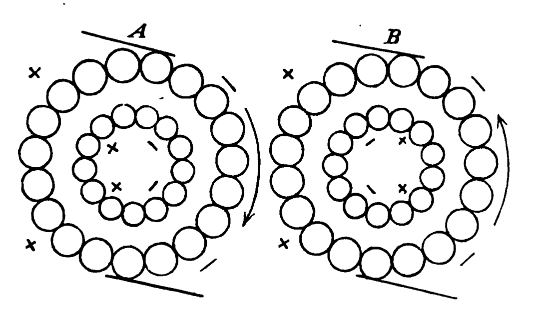


Fig. 307.

Der äußere Kreis in dieser Figur repräsentiert die Kupferdrähte der Ankerbewickelung, der innere Kreis die Eisendrähte des Ankerkernes (der Armatur). Es folgt daraus, daß die magnetische Wirkung der Ströme des Kernes für die Primärmaschine A dieselbe ist wie in den Kupferdrähten, während in der Sekundärmaschine B die Stromrichtungen in Bewickelung und Kern entgegengesetzt sind.

*) Dr. O. Frölich, La Lumière électrique. 1883. S. 360.

Neunundzwanzigstes Kapitel.

Konstruktionsregeln für elektrische Krafttransmissionsanlagen.

152. In welchem Verhältnis steht der Querschnitt der Leitung zu dem von einer elektrischen Krafttransmission übertragenen Effekt?

Bekanntlich ist bei konstanter elektromotorischer Kraft und für dieselbe Leitungslänge die Stromstärke direkt proportional zu dem Querschnitt der Leitung. Bezeichnet man nun mit i die Stromstärke in einer Kraftübertragungsleitung, mit e die elektromotorische Gegenkraft der Sekundärmaschine, mit w den Widerstand in der Kraftübertragungsleitung und mit A die von der Primärmaschine konsumierte Arbeit, so kann man, wenn die hier vorkommenden Verluste nicht berücksichtigt werden, die Effektgleichung aufstellen:

$$A = i\,e - i^2\,w;$$

die Arbeitsleistung der Sekundärmaschine ist dann:

$$A_1 = i\,e,$$

also

$$A = A_1 - i^2\,w.$$

Die Kraftleistung hängt also nur von dem Produkte i e ab und es ist ganz gleichgültig, ob man i verkleinert, wenn nur e entsprechend vergrößert wird, um das Produkt i e auf gleichem Wert zu erhalten. Setzt man also $i = 0$ und $e = \infty$, so geht die letzte Gleichung über in:

$$A = A_1,$$

weil i^2 als Quadrat einer unendlich kleinen Größe zu vernachlässigen ist, so daß $i^2\,w = 0$ wird. Die letzte Gleichung besagt, daß in diesem Falle der Nutzeffekt gleich 100 Prozent sein muß. Dafür ist aber der Verlust durch mangelhafte Isolierung und die Gefahr von einer solchen Maschine getötet zu werden sehr groß, denn eine Spannung über 200 Volt kann schon gesundheitschädlich wirken.

Nach alledem ist der von Deprez ausgesprochene Satz: „Der Nutzeffekt der elektrischen Krafttransmissionen ist unabhängig von der Entfernung“ vom technischen Standpunkte als unzulässig bezeichnet werden. Nach Deprez läßt man einfach die elektromotorische Kraft mit der Quadratwurzel aus dem Widerstande wachsen, um

bei Vergrößerung der Entfernung denselben Nutzeffekt von einer elektrischen Krafttransmission zu erhalten. Man gelangt aber dabei für einigermaßen große Längen der Leitung zu Spannungen von tausenden von Volt für die Primärmaschine, zu deren Erzeugung ganz außerordentlich dünndrähtige Ankerbewickelungen nötig sein würden. Beide Momente führen die schon angedeuteten Übelstände mit sich.

Nur auf kurze Entfernungen und bei Anwendung nicht zu dünner Leitungsdrähte kann man, wie durch die von Siemens & Halske 1880 angestellten Versuche bewiesen worden ist, einen elektrischen Nutzeffekt bis zu 60 Prozent erhalten, jedoch ist der mechanische Nutzeffekt beträchtlich geringer. Jedenfalls ist hinsichtlich des München-Miesbacher Versuches zu berücksichtigen, daß durch denselben der ungünstigste Fall für die noch mögliche Ausführung einer elektrischen Krafttransmission repräsentiert wird.

153. Wie stellen sich die Kosten für die von einer elektrischen Krafttransmission im Kleinbetriebe gelieferte stündliche Pferdestärke im Vergleich zu einem Gasmotor?

Hierüber ist von W. Siemens in London eine ausführliche Berechnung auf Grund der Annahme aufgestellt worden, daß man für einen Londoner Stadtteil von etwa 800 m Quadratseite mit 300 bewohnten Häusern eine Zentralstation für elektrische Beleuchtung angelegt habe und die so zur Disposition gestellte elektrische Krafttransmission täglich acht Stunden lang für die Zwecke des Kleinbetriebs ausnutzen wolle. Es ist dabei vorausgesetzt, daß durch elektrisches Licht nur 25 Prozent der Beleuchtung, die übrige durch Gaslicht geliefert werde. Die dazu nötige Betriebskraft ist auf 7000 Pferdestärken und die Summe der Anlagekosten für die mit allen nötigen Maschinerien ausgerüstete Zentralstation nebst der Leitung ist auf etwa 3 500 000 Mark geschätzt. Die Krafttransmission soll die Hälfte der Anlagekosten tragen. Unter diesen Umständen kostet dem Handwerker die stündliche Pferdestärke in der Werkstätte, alle für ihn noch besonders nötigen Anlage- und Betriebskosten eingerechnet, 20.6 Pfennig, während die stündliche Pferdestärke eines Gasmotors bei dem Gasverbrauch von 1 kbm zu 16 Pfennig sich auf 30.5 Pfennig stellt, so daß man also ein Verhältnis von 2 : 3 zugunsten der elektrischen Krafttransmission erhält.

154. Auf welche Weise kann man die elektrische Krafttransmission graphisch darstellen?

Hierzu giebt Dr. O. Frölich*) das folgende Verfahren an: Für die Transmission ist nur die Kenntnis der von der Elektrizitätsquelle hervorgerufenen Spannung und der Widerstände derselben nötig. Außerdem sind die Verluste, welche durch Reibung und die Kernströme (Foucaultsche Ströme) entstehen, in die Rechnung einzuführen, wobei man diese Verluste nach der Erfahrung abschätzen kann. Es sind dies die notwendigen Korrektionen der elektrischen Methode.

Die Hauptwirkung ist stets die elektrische Wirkung, welche graphisch darzustellen ist, und zwar ist diese graphische Methode weit bequemer als das Rechnen.

Seit Ohm ist es Gebrauch, zur Darstellung der Spannungen, Intensitäten und der Widerstände diese letzteren als Abszissen, die ersteren aber als Ordinaten aufzutragen; die Intensität (für die Punkte des Stromkreises, wo keine elektromotorische Kraft vorhanden) ist dann die Tangente des Winkels α (Fig. 308), welchen die Spannungslinie P P mit der Abszissenaxe einschließt.

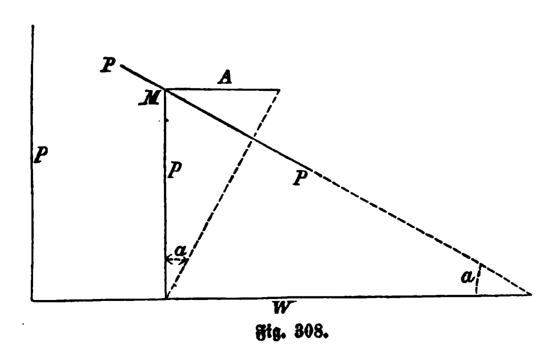


Fig. 308.

Es ist leicht, für jeden Punkt M der Spannungslinie P P die Arbeit in diesem Punkte zu konstruieren; dieselbe hat zum Ausdruck

$$A = P J$$

wenn P die Spannung und J die Intensität ist, oder $J = \tan a$ und

$$A = P \tan a.$$

*) La Lumière él[illegible] [illegible]. S. 372.

Man erhält daher A, wenn man von M eine Perpendikulare auf die Ordinatenaxe fällt und von dem Durchschnittspunkte derselben mit der Ordinatenaxe eine Perpendikulare auf P P zieht; die Länge zwischen den Durchschnittspunkten dieser beiden Normalen und der Horizontalen vom Punkte M ist gleich der tang a und folglich gleich der Arbeit A.

Da andernteils das Produkt 1 Volt durch 1 Ampère fast gleich 0.1 mkg pro Stunde ist, so kann man die Spannungen, Widerstände und Arbeiten direkt in Millimetern ablesen. Man macht daher 1 Volt = 1mm, 1 Ohm = 10 mm, was für die Arbeit pro Sekunde 1 mkg ergiebt.

Anstatt zu sagen elektrische Arbeit in einem Punkte des Stromkreises, werden wir lieber sagen elektrische Energie zwischen diesem Punkte und dem Nullpunkte des Stromkreises; denn einer der Faktoren der Arbeit ist Spannung und durch Spannung drückt man immer die Differenz der Spannungen zwischen diesem Punkte (M) und dem Punkte (O) der niedrigsten Spannung des Stromkreises A B aus (Fig. 309).

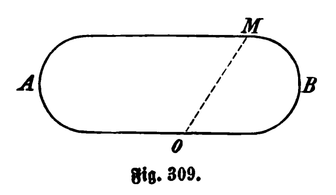


Fig. 309.

Indem man auf dem Stromkreise zwei Punkte M und O bestimmt, teilt man denselben in zwei Teile M A O und M B O; die positive Elektrizität geht durch M in der Richtung von A gegen B, wenn die elektromotorische Kraft in A größer ist als in B. In jedem Stromkreise entwickelt man so viel Arbeit, als verbraucht wird — wie dies in allen Erscheinungen des Kreisprozesses der Fall ist. Hieraus folgt, daß die elektrische Energie zwischen M und O stets gleich ist der aufgewendeten Energie im Zweige A, von wo der Strom kommt, und gleich der verbrauchten Energie im Zweige B. Es befinde sich z. B. eine elektrische Maschine in A und eine andere, schwächere in B. Die Primärmaschine im Zweige A transformiere beispielsweise 10 Pferdestärken mechanische Arbeit in elektrische Arbeit. In M sollen nicht mehr als 7 Pferdestärken ankommen, indem die anderen 3 Pferdestärken als Wärme aufgewendet werden. Es muß also im Zweige B eine gleiche Quantität (7 Pferde) verbraucht werden, wovon 2 Pferdestärken in Wärme

und 5 in der Sekundärmaschine B zur Umwandelung in mechanische Arbeit verbraucht werden.

Wenn man daher eine Linie zieht, welche die elektrische Arbeit repräsentiert, gleichgültig von welchem Punkte der Linie der Spannungen, so erhält man gleichzeitig eine Angabe der Arbeitssumme, welche auf den beiden Seiten dieses Punktes produziert oder konsumiert wird.

An einigen Beispielen soll die Nützlichkeit der graphischen Darstellung nachgewiesen werden.

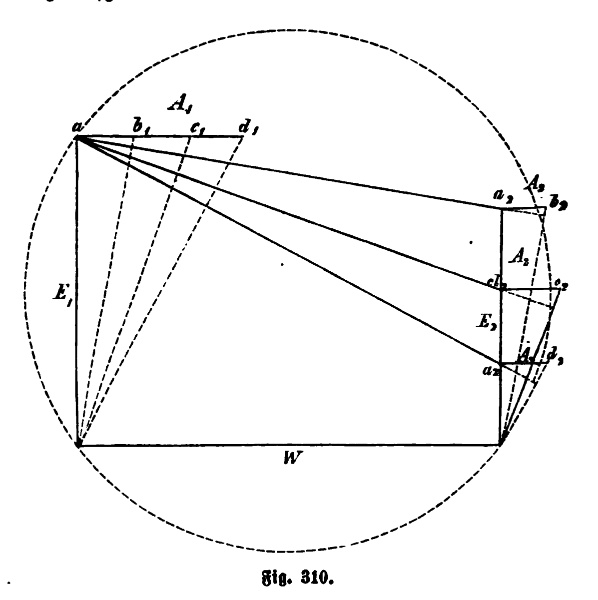


Fig. 310.

155. Wie variiert der Wirkungsgrad und die Arbeit für verschiedene Intensitäten, wenn infolge des konstanten Magnetismus und der konstanten Geschwindigkeit der Primärmaschine deren elektromotorische Kraft konstant ist?

Man schlägt nach Fig. 310 einen Kreis durch den Anfangspunkt der Koordinaten und durch die beiden äußersten Punkte von E_1 und W; wenn man alsdann vo[illegible] nkte von W

ormalen auf die Spannungslinien zieht, so schneiden sich diese
.nien auf dem Kreisumfange. Man kann folglich leicht nachweisen,
aß die Arbeit der Sekundärmaschine in zwei Punkten auf der Linie E_2,
welche in gleichen Distanzen von deren Mitte $\left(\frac{E_1}{2}\right)$ liegen, gleich
st und daß diese Arbeit für $E_2 = \frac{E_1}{2}$ ein Maximum wird und
daß sie vom Widerstande des Stromkreises unabhängig ist.

Dieser bereits 1880 von Marcel Deprez aufgestellte Lehrsatz läßt sich durch Fig. 310 beweisen.

Verfolgt man die Arbeit der Primärmaschine A_1, während die elektromotorische Kraft E_2 wächst, so bemerkt man, daß diese Arbeit abnimmt.

Man findet den elektrischen Wirkungsgrad, indem man die Linie, welche die Arbeit A_2 der Sekundärmaschine darstellt, bis E_2 (der elektromotorischen Kraft der Primärmaschine) verlängert.

Der untere, abgeschnittene Teil auf E_1 ist gleich E_2, und da der Wirkungsgrad $\frac{E_2}{E}$ ist, so wird derselbe durch das Verhältnis dieses Teiles ($= E_2$) zur ganzen Linie E_1 bestimmt.

Der Nutzeffekt wächst daher mit E_2, wird $= 0.5$ für $E_2 = \frac{1}{2} E_1$ und $= 1$ für $E_2 = E_1$. Wenn die Sekundärmaschine für irgend einen Widerstand die Maximalarbeit leisten soll, so wird der Nutzeffekt nicht höher als 50 Proz. steigen können. Wenn die oben erwähnten Verluste nicht existierten, so würde der elektrische Nutzeffekt bis zu 100 Proz. gesteigert werden können, aber in dem Maße, als man über 50 Proz. hinausgeht, vermindert man die produzierte Arbeit, und je näher man dem Maximalwerte, desto kleiner werden die Werte der Arbeit, welche die beiden Maschinen leisten.

Bei Dynamomaschinen gewöhnlicher Konstruktion entstehen noch weitere Verluste durch die sogenannten „toten Touren“, welche etwa 10 Proz. des elektrischen Wirkungsgrades absorbieren. Bekanntlich giebt es für diese Art Maschinen eine gewisse Geschwindigkeit, bei welcher diese toten Touren gerade ansprechen, d. h. bei welcher sie den Strom erzeugen. Mit solchen Maschinen ist eine Kraftübertragung nur dann möglich, wenn (für dieselbe Stellung des Kommutators in beiden Maschinen) die Differenz der Tourenzahl zwischen der Primärmaschine und der Sekundärmaschine wenigstens gleich der Zahl der toten Touren ist.

Da nun aber die „toten Touren" im Maximum 100 Proz. der Tourenzahl einer Maschine erreichen können, so wird selbst für die schwächsten Ströme und für das Maximum des Wirkungsgrades eine Differenz von 10 Proz. zwischen den Tourenzahlen und folglich auch zwischen den elektromotorischen und mechanischen (die Arbeit produzierenden) Kräften stattfinden. Das vorliegende Beispiel zeigt auch den Einfluß der Zugkraft der Primärmaschine auf die Arbeitsleistung. Nehmen wir z. B. eine elektrische Eisenbahn an, bei welcher alle Bedingungen so gewählt sind, daß für einen gewissen Widerstand und auf horizontaler Bahn die lokomotive Dynamomaschine 50 Proz. Nutzeffekt ergiebt; man kann nun fragen, wie viel Arbeit muß die Maschine bei der Auffahrt auf einer Rampe, bei gleichem Widerstande und demnach beträchtlich gesteigerter Zugkraft, leisten.

Die Vergrößerung der Zugkraft entspricht einer vergrößerten Stromstärke, wie oben nachgewiesen wurde. Aber anderenteils wächst die Intensität, wie aus Fig. 310 ersichtlich, mit der produzierten Arbeit, folglich vermindert sich die Geschwindigkeit und zwar in stärkerm Verhältnisse, als die Zugkraft zunimmt.

156. Welchen Einfluß übt die Geschwindigkeit aus?

Ist Widerstand und Stromstärke konstant, so verändert sich die elektromotorische Kraft mit der Geschwindigkeit. Es sei z. B. eine Transmission, welche zum Betrieb einer von der Primärmaschine entfernten Pumpe dient; die Betriebskraft dieser Pumpe sei konstant und unabhängig von der Geschwindigkeit. Es handelt sich darum zu wissen, ob man bei Vergrößerung der Geschwindigkeit gleichzeitig nicht allein die Arbeit, sondern auch den Wirkungsgrad erhöht.

Mit Bezug auf Fig. 311 nehme man für geringe Geschwindigkeiten die Arbeiten a_1 b_1 und a_2 b_2 an. Wenn man nun (ohne Verstärkung der Zugkraft an der Sekundärmaschine) die Geschwindigkeit der Primärmaschine vergrößert, so bleibt die Stromstärke, d. i. die Neigung der Spannungslinie unverändert und die Arbeiten gehen einesteils in a_1 c_1 und anderenteils in a_2 c_2 über. Man ersieht daraus, daß die hervorgebrachte Arbeit sich stärker vergrößert hat, als die aufgewendete Arbeit, daher ist der Wirkungsgrad größer geworden.

Man ersieht hieraus, daß der Geschwindigkeitsvergrößerung auch eine Vergrößerung der Arbeit und eine Erhöhung des Wirkungsgrades entspricht.

Man ersieht aber auch weiter, daß man sich der hier angeführten graphischen Darstellung bedienen kann, um direkt den Einfluß

der Geschwindigkeitsveränderungen auf die produzierte Arbeit zu zeigen.

157. Welchen Einfluß übt die Bewickelung der Maschine aus?

Nehmen wir an, es sei eine Krafttransmission für eine große Entfernung zu projektieren und man sei bei der Berechnung auf eine sehr dicke und daher sehr kostspielige Leitung gekommen.

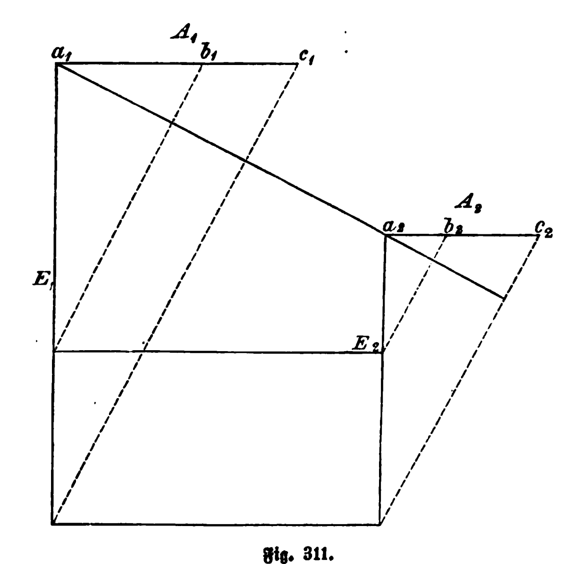


Fig. 311.

Man versucht es daher mit einer feinern Bewickelung, so daß die Zahl der Drahtwindungen die doppelte wird, indem der Drahtdurchmesser auf die Hälfte vermindert worden ist. Es handelt sich darum zu wissen, welchen Widerstand man dem Stromkreise zu geben hat, so daß weder die Arbeit noch der Wirkungsgrad vermindert werde.

Die kleine Figur links in Fig. 312 S. 320 repräsentiert das erste Projekt. Durch W sind die Widerstände der Maschinen, durch L diejenigen der Leitung dargestellt. Wenn der Querschnitt des Drahtes

in einer Maschine auf die Hälfte seines ursprünglichen Wertes vermindert wird und die Arbeit dieselbe bleiben soll, so muß die elektromotorische Kraft doppelt so groß werden, die Stromstärke wird alsdann halb so groß als vorher und der Widerstand vervierfacht sich. Wenn dies bei den beiden Maschinen stattfinden soll, so ersieht man aus den geometrischen Eigenschaften der Fig. 312, daß der Widerstand im Stromkreise sich auch vervierfachen muß. Man erhält so die große Figur in Fig. 312 als Darstellung des zweiten Projekts. Die Arbeiten und Nutzeffekte sind dieselben wie in der kleinen Figur, aber die Widerstände der Maschinen (W′) und diejenigen der Leitung (L′) sind vervierfacht worden.

Man sieht, daß man auf diese Weise die gegebenen Widerstände überwinden kann, ohne daß man etwas an den Bedingungen der

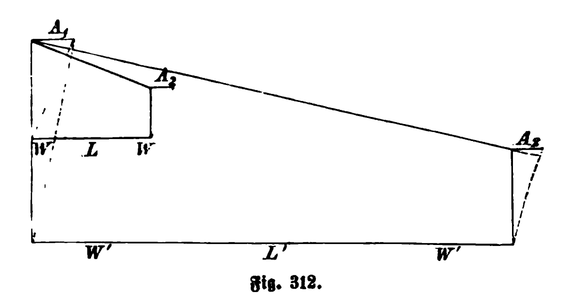


Fig. 312.

Arbeit verändert. Deprez hat dies in München experimentell nachgewiesen. Man sieht noch aus der Figur, daß, wenn die Bewickelung konstant bleibt, der Nutzeffekt nur vom Verhältnis der Widerstände in den Maschinen und in der Leitung abhängig ist, und daß sich nichts ändert, weil dieses Verhältnis konstant bleibt. Wenn der Widerstand der Leitung null ist, so wird der Nutzeffekt für jede Bewickelung derselbe bleiben, weil die Geschwindigkeit dieselbe bleibt.

Bei den Deprezschen Versuchen in München waren die Widerstände in den beiden Maschinen fast so groß als in der Leitung. Der mechanische Wirkungsgrad betrug 23 Proz., der elektrische 46 Proz.

Für eine Versuchsreihe, welche Siemens & Halske 1880 anstellten, fand sich dasselbe Verhältnis. Der Widerstand der beiden Maschinen betrug ungefähr 1 U.S., derjenige der Leitung war derselbe; die

mechanischen Wirkungsgrade variierten zwischen 27 und 34 Proz., die elektrischen zwischen 34 und 56 Prozent.

Es besteht daher zwischen diesen Siemensschen Resultaten und den Deprezschen dasselbe Verhältnis wie zwischen den beiden Figuren in Fig. 312; nur der Unterschied ist vorhanden, daß die Widerstände bei den Deprezschen Versuchen nicht bloß vierfach sondern 450mal größer als bei den Versuchen von Siemens & Halske waren*).

158. Welchen Einfluß übt die Leitung aus?

Es sei mit Bezug auf Fig. 313 die elektromotorische Kraft in beiden Maschinen konstant (indem Magnetismus und Geschwindigkeit konstant sind) und man lasse den Widerstand in der Leitung variieren.

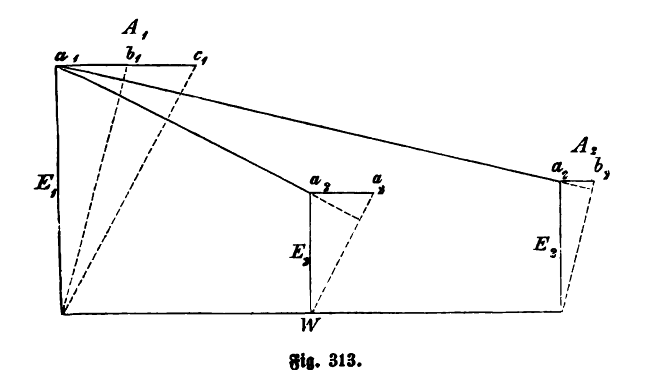


Fig. 313.

Die Figur 313 zeigt, daß die Arbeit sowohl der Primärmaschine, als auch diejenige der Sekundärmaschine sich vermindert, wenn die Leitung länger wird; aber der Wirkungsgrad bleibt derselbe, weil die elektromotorischen Kräfte dieselben bleiben. Anderenteils ersieht man wie in den Figuren 311 und 312, daß man für einen beliebigen Widerstand denselben Wirkungsgrad erreicht.

Je größer der Widerstand, desto mehr vermindert sich die Intensität (Stromstärke) und mit ihr die Zugkraft an der Riemenscheibe der Sekundärmaschine.

*) Bei den Deprezschen Versuchen betrug der Widerstand in der Leitung 950 Ohm und derjenige in den beiden Maschinen zusammen 900 Ohm.

In der Praxis trifft man besonders bei dem Betriebe elektrischer Eisenbahnen auf variable Widerstände. Wenn die Bahn ganz horizontal ist, so bleibt die Zugkraft auf der ganzen Linie dieselbe, d. h. die Stromstärke ist konstant. Wenn man die Spannungslinie für diese Intensität konstruiert, indem man die elektromotorische Kraft der Primärmaschine als konstant annimmt und die der Arbeit entsprechenden Linien auf verschiedene Punkte der Bahn ($a_2\,b_2$, $a_2\,b'_2$ in Fig. 314) zieht, so sieht man, wie die Entfernung der

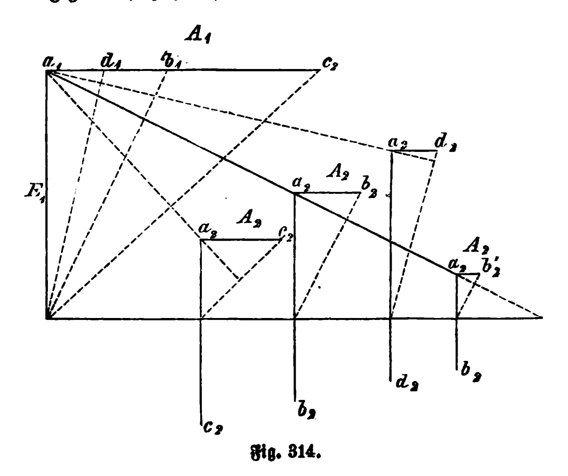


Fig. 314.

Primärmaschine größer wird. Verlängert man die Linie der Spannungen, bis dieselbe mit der Abszissenaxe zusammentrifft, so kann man deren Schnittpunkt als den fiktiven Endpunkt der Linie (Bahnstrecke) bezeichnen; und man sieht, daß das Fahrzeug so lange Arbeit produzieren kann, bis dasselbe im fiktiven Endpunkt angekommen ist. Die Arbeit ist aber das Produkt aus Geschwindigkeit durch Zugkraft; indem die Zugkraft konstant ist, hängt die Arbeit nur von der Geschwindigkeit ab, zu welcher sie in direktem Verhältnis steht. Es folgt daraus, daß die Geschwindigkeit des Fahrzeugs für eine horizontale elektrische Eisenbahn proportional ist der Entfernung des Fahrzeugs vom fiktiven (gedachten) Endpunkte.

Ist die Bahn nicht durchaus horizontal, sondern giebt es Abhänge und Rampen, so bleibt die Zugkraft nicht konstant, sondern

wächst oder vermindert sich mit der Komponente des Gewichtes des Fuhrwerks parallel zu den Schienen.

Wenn man die Kurve der Zugkraft für die Sekundärmaschine kennt, so wird man die Stromstärken, welche der Ab- und Auffahrt entsprechen, bestimmen können.

Durch die Stromstärke kennt man stets die Neigung der Linie der Spannungen bestimmt, und man kann daher die Linie der Spannungen für jeden Abfall der Spurlinie, sowie auch die Arbeit bestimmen. Man erhält die Geschwindigkeit, wenn man die Arbeit durch die Zugkraft dividiert. Auf diese Weise kann man Karten herstellen, welche für jeden Punkt der Fahrt einer elektrischen Lokomotive die Arbeit und die entsprechende Geschwindigkeit zur Ansicht bringt.

In Fig. 314 stellt $a_2\,c_2$ die Arbeit bei der Auffahrt einer Rampe und $a_2\,d_2$ die Arbeit bei der Hinabfahrt eines Abhanges dar. Es sind außerdem alle diese Arbeiten von unten von der Abszissenaxe aufgetragen.

159. Wie kann man sich mit den jetzigen Dynamomaschinen den großen Wirkungsgraden nähern, welche theoretisch erreichbar sind?

Denken wir uns zwei für die Kraftübertragung geeignete Maschinen, die zusammen verbunden und so berechnet sind, daß sie für einen fortdauernden Betrieb das Maximum der Stromstärke und der Geschwindigkeit ergeben.

Es wurde bereits angegeben, daß alsdann die Primärmaschine doppelt so kräftig als die Sekundärmaschine sein muß.

Diese Krafttransmission wird einen mechanischen Wirkungsgrad von ungefähr 50 Proz. ergeben. Werden die Reibungswiderstände und die Ströme im Metallkern reduziert, so kann dieser Wirkungsgrad bis auf 60 Proz. steigen. Um denselben über diese Grenze hinaus zu erhöhen bleibt nur ein Mittel: nämlich die Vergrößerung der Geschwindigkeit, denn bei Anwendung feinern Drahtes zur Bewickelung ändert sich der Wirkungsgrad nicht, selbst wenn der Widerstand der Leitung bis auf null sinkt.

Wenn man die Geschwindigkeiten der angenommenen Maschinen nicht vergrößern kann, so muß man größere Maschinen konstruieren, welche dieselbe elektromotorischen Kräfte und dieselben Stromstärken wie die vorhergehenden bei kleineren Geschwindigkeiten ergeben. Die Arbeiten und Wirkungsgrade werden dieselben bleiben, aber da die Geschwindigkeiten erhöht werden können, so hat man die Möglichkeit, die Arbeit und den Wirkungsgrad zu vergrößern.

Um die größten Wirkungsgrade zu erhalten, muß man zuerst die Arbeitsverluste beschränken, dann aber schwache Ströme verwenden und die Geschwindigkeit erhöhen.

160. Wie ist die elektrische Eisenbahn eingerichtet?

Bei der elektrischen Eisenbahn ist die als Stromgenerator dienende primäre Dynamomaschine stationär, die als Stromempfänger dienende sekundäre Dynamomaschine aber auf einem Rädergestell angebracht, dessen Fortbewegung sie nach Art des Lokomotivbetriebes bewirkt. Die zur Stromführung für die elektrische Lokomotive dienende Leitung läßt sich direkt durch die Schienen herstellen, wobei jedoch leicht Undichtheiten eintreten. Eine andere Methode der Stromführung besteht darin, die Leitung über den Schienen durch die Luft zu führen und die Lokomotive durch einen auf der Leitung rollenden Kontakt damit in Verbindung zu setzen. Beide Methoden sind von Siemens & Halske zur Ausführung des elektrischen Bahnbetriebes benutzt worden. Eine dritte, von Ayrton und Perry ausgeführte Leitungsmethode beruht darauf, neben die Schienen ein Kabel zu legen und dessen Strom von Strecke zu Strecke in die Schienen überzuführen, wozu eine besondere in Fig. 315 dargestellte Kontakteinrichtung vorhanden ist.

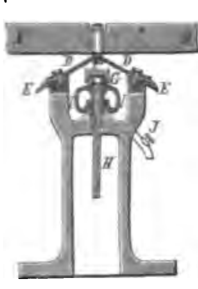


Fig. 315.

A B ist eine Kupferschiene, welche auf einer elastischen Platte D aus gehärtetem Stahl befestigt ist. Diese Platte ruht auf einem dicken Ring E aus Hartgummi, welcher auf einer gußeisernen Büchse ruht, die auf den Bahnschwellen, seitlich von den Schienen, befestigt ist, so daß die Lokomotive bei dem Vorbeifahren mittels einer Rolle die Kupferschiene A B und die isolierte Platte D niederdrückt, wobei die Platte D bei F mit dem Knopfe G und dadurch auch mit dem sonst gut isolierten Kabel in elektrischen Kontakt kommt. Diese Kontakte sind in Distanzen von etwa 8 m neben den Schienen angebracht. I ist ein Isolator, durch welchen das Kabel hindurch geführt ist und der auf der isolierten Stange H ruht. J ist ein Hahn zum Ablassen des etwa in der Büchse sich ansammelnden Regenwassers.

Siebenter Abschnitt.

Die elektrische Telegraphie.

Dreißigstes Kapitel.

Die Schrifttelegraphie.

161. Was ist über das Telegraphieren im allgemeinen zu bemerken?

Die Aufgabe der Telegraphie besteht darin, eine Nachricht in kürzester Zeit auf weite Entfernung zu befördern. Die größte Schnelligkeit wird in dieser Beziehung durch Anwendung der Elektrizität erreicht. Jedes System der elektrischen Telegraphie besteht im wesentlichen aus dem Elektromotor, der Leitung, dem Absendungsapparate oder Geber und dem Empfangsapparate oder Empfänger.

162. Wie sind die Leitungen einzurichten?

Bezüglich der Leitung unterscheidet man oberirdische, unterirdische und unterseeische (submarine). Die Rückleitung des Stromkreises erfolgt stets durch die Erde. Für oberirdische Leitungen, wo des Windes, Schneedruckes und anderer die Zähigkeit und Elastizität des Materials besonders in Anspruch nehmender Wirkungen wegen die Anwendung des Kupferdrahtes nicht ratsam ist, wählt man Eisendraht, obschon derselbe nur ein Sechstel des dem Kupferdrahte zukommenden Leitungsvermögens besitzt. Um den Eisendraht der Leitungen möglichst zu konservieren wird derselbe verzinkt. An den Unterstützungspunkten müssen die Leitungsdrähte gut isoliert sein, zu welchem Zwecke sogenannte Isolatoren, das sind kleine, glockenförmige Träger aus Porzellan, zur Befestigung und Unterstützung

der Drähte angewendet werden. Bei unterirdischen Leitungen werden die Drähte mit Asphaltmasse umgeben oder durch geteerte gußeiserne Rohre geführt, oder man stellt auch Kabel her, die aus der nötigen Anzahl von isolierten Kupferdrähten gebildet und mit einem geeigneten Isolierungsmaterial umhüllt, außerdem aber auch noch der Festigkeit wegen mit Eisendrähten umwunden sind. Die unterseeischen Kabel werden in ganz ähnlicher Weise hergestellt.

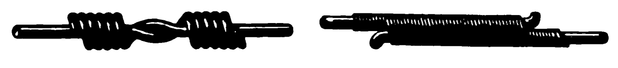


Fig. 316. Fig. 317.

Von großer Wichtigkeit ist die Verbindung der einzelnen Drahtlängen oder Drahtadern in der Leitung, weil davon die Festigkeit und gute Leitungsfähigkeit abhängt. Die beste Verbindungsweise ist die sogenannte *Würgelötstelle* (Fig. 316).

Bei einer andern Verbindung (Fig. 317) werden die hakenförmig umgebogenen Drahtenden neben einander gelegt und auf 100 mm Länge mit dünnem Bindedraht fest umwunden, worauf man das Ganze sorgfältig verlötet.



Fig. 318.

163. Auf welche Weise werden die Leitungsdrähte isoliert?

Hierzu dienen die Isolatoren, welche an den Stützen der Leitungsdrähte befestigt werden und als Träger der Drähte dienen. In Fig. 318 sind verschiedene solcher Isolatoren dargestellt. Das Material derselben ist meist Porzellan, zuweilen auch Glas. Eine gute Befestigung der Drähte an den Isolatoren ist eine Hauptbedingung, weil bei der fortgesetzten Bewegung der

·ähte das Porzellan stark angegriffen wird. Die Drähte werden ·ntweder an dem Halse des Isolators oder über dessen Kopf in ·ie Kerbe eingelegt und mittels Bindedraht befestigt oder auch durch ·n Loch im Isolator hindurch gezogen.

164. Wie lassen sich die elektrischen Telegraphen klassifizieren?

Man kann drei Klassen von elektrischen Telegraphen unterscheiden: ·) Nichtregistrierende Apparate; 2) Schreibapparate; ·) Typendruckapparate.

165. Welches sind die Haupteigentümlichkeiten dieser verschiedenen Klassen von Telegraphen?

Zu den nichtregistrierenden Apparaten gehören die Nadel- und Zeigertelegraphen. Bei den ersteren besteht der zeichengebende Apparat (Empfänger) aus einer oder zwei Galvanometerspiralen, deren Nadeln je nach der Stromrichtung nach der einen oder der andern Seite abgelenkt werden. Das Alphabet wird aus der Kombination solcher Ablenkungen gebildet. Die hauptsächliche Verwendung findet der Nadelapparat in der transatlantischen Telegraphie, wobei mit sehr schwachen Strömen operiert werden muß und daher die empfindlichsten Apparate nötig sind; insbesondere wird deshalb für diesen Zweck das Thomsonsche Spiegelgalvanometer (S. 81) benutzt.

1) Bei den Zeigertelegraphen sind sowohl der zeichengebende Apparat (Sender), als auch der zeichenempfangende Apparat (Empfänger) mit Zifferblättern versehen, auf welchen im Umkreise die für das Depeschieren nötigen Zeichen in Buchstaben, Wörtern und Zahlen u. s. w. angegeben sind. Auf diesem Zifferblatte läuft ein Zeiger herum, welcher beim Sender mit der Hand, bei dem Empfänger durch den elektrischen Strom, in entsprechender Weise wie am Sender, herumgedreht wird und auf jedem zu bemerkenden Zeichen kurze Zeit still steht. Diese Apparate arbeiten verhältnismäßig langsam und sind kompliziert, jedoch haben sie den Vorzug, daß zu ihrer Benutzung keine besondere Ausbildung nötig ist, weil die Depesche in gewöhnlicher Schrift abgelesen werden kann. Die Zeigertelegraphen werden daher im kleinen Betriebe für den Eisenbahn- und Privatdienst benutzt. Die Bewegung des Zeigers erfolgt entweder unmittelbar durch die Wirkung eines Elektromagnets, dessen pendelnder Anker mittels Gesperre oder Hemmung ein mit der Zeigeraxe verbundenes Zahnrad Zahn um Zahn weiter bewegt und damit den Zeiger herumdreht, oder der Zeiger erhält mittels eines

Gewichtuhrwerks die Tendenz zu kontinuierlicher Drehung, welche aber durch ein Gesperre gehemmt und durch den pendelnden Anker eines Elektromagnets in eine ruckweise, von Zeichen zu Zeichen gehende Drehung des Zeigers umgewandelt wird.

2) Unter den Schreibtelegraphen ist der Morse-Apparat der verbreitetste; der Empfänger dieses Apparats besteht aus einem kurz schwingenden Doppelarmhebel (Taster), woran an dem einen Arme der Anker des die Hebelschwingungen veranlassenden Elektromagnets befestigt ist, während am andern Arme der Schreibstift sitzt und zugleich eine Feder wirkt, die beim Verschwinden der durch jede Stromunterbrechung aufgehobenen Magnetkraft den Hebel in seine Ruhelage zurückführt, wobei der Schreibstift außer Berührung mit dem die Depesche aufnehmenden, mittels Uhrwerk vorbeigezogenen Papierstreifen kommt. Infolge dieser Wirkungsweise des Apparats besteht das Morse-Alphabet aus einer Kombination von Strichen und Punkten, und sind die einzelnen Wörter durch einen etwas größern Zwischenraum als der zwischen den einzelnen Buchstaben getrennt.

Der Geber, Morse-Taster oder Schlüssel, eine Art Stromunterbrecher (Interruptor) besteht aus einem Doppelarmhebel, der an dem einen Ende mit einem isolierten Knopfe versehen ist, und erfolgt der Stromschluß durch den Kontakt zweier Platinknöpfchen, von denen das in die Grundplatte des Tasters eingelassene mit der galvanischen Batterie, das an dem Hebel sitzende mit der Leitung verbunden ist. Durch Fingerdruck auf den isolierten Knopf erfolgt der Stromschluß, während beim Loslassen der Hebel durch eine Feder in die Ruhelage zurückgeschnellt und damit der Strom unterbrochen wird.

Jenachdem die Schriftzeichen durch bloßen Eindruck des stumpfspitzen Schreibstiftes in das Papier oder durch Ausfließen von Farbe aus dem hohlen, mit Farbe gefüllten Stifte hergestellt werden, unterscheidet man Reliefschreiber und Farbschreiber.

Zu den Schreibtelegraphen sind auch die Kopiertelegraphen oder autographischen Telegraphen zu rechnen, in denen ein chemisch präparierter Papierstreifen benutzt wird, dessen Präparat sich durch den elektrischen Strom unter Bildung einer Farbe zersetzt. Der Bainsche Kopiertelegraph besteht aus zwei gleichgroßen, mit genau gleicher Geschwindigkeit rotierenden Metallcylindern, wobei ein Metallstift langsam sich in der Längsrichtung auf dem Cylinderumfange verschiebt, so daß darauf in engen Windungen eine Spiral-

linie beschrieben wird. Auf dem Cylinder des Gebers befindet sich die mit Harzfirnis auf Zinnfolie oder Goldpapier geschriebene Depesche und auf dem Cylinder des Empfängers ein in bemerkter Weise präpariertes Papier, worauf durch den bei der Stromwirkung vor sich gehenden Zersetzungsprozeß die Depesche in der Originalschrift weiß auf gefärbtem Grunde zum Vorschein kommt.

Bei Anwendung des Bonellischen Kopiertelegraphen wird die Depesche in großen lateinischen Metall-Lettern gesetzt und eine Reihe von Metallfedern, von denen jede ihren besondern Leitungsdraht hat, darübergeführt, wobei der Strom beim Überfahren der zwischen den Buchstabenzügen befindlichen Leerstellen unterbrochen wird.

Bei dem Casellischen Kopiertelegraphen werden anstatt der Bainschen Schreibwalzen cylindrisch gekrümmte Metallplatten benutzt, auf denen sich die Schreibstifte bewegen.

Ein Übelstand bei diesen Kopiertelegraphen liegt außer der schwierigen Regulierung der synchronistischen Bewegung zweier ähnlichen Teile besonders auch noch in der Anwendung des chemisch zubereiteten Papiers, das während der Arbeit gleichmäßig feucht erhalten werden muß, woraus mancherlei Störungen erwachsen. Man hat deshalb versucht, das präparierte Papier durch gewöhnliches Papier zu ersetzen und die Zeichen durch einen Farbe abgebenden Schreibstift hervorzubringen, welcher mittels eines Elektromagnets gegen das über eine rotierende Walze ausgespannte Papier gedrückt wird. Derartige Apparate sind von Mayer, Lenoir, d'Arlincourt u. a. konstruiert worden.

Alle diese Apparate besitzen aber auch synchronistische Mechanismen, wodurch der Kopierprozeß verlangsamt und unsicher wird.

Befreit von diesem Übelstande ist der Cowpersche Schreibtelegraph, welcher auf der mathematischen Thatsache beruht, daß der Punkt irgend einer Kurve durch seine Entfernungen von zwei rechtwinkligen Koordinatenaxen bestimmt wird. Cowper bewirkt dies durch zwei besondere Ströme, und wendet zum Betrieb seines Apparates zwei Drähte an, obschon es möglich erscheint, mit nur einem Drahte und einer Batterie auszukommen.

Fig. 319 S. 330 illustriert die theoretische Einrichtung des Apparates. P ist der Schreibstift, welcher mit der Hand wie beim gewöhnlichen Schreiben geführt wird und die Schrift oder Zeichnung auf einem durch ein Uhrwerk gleichmäßig fortbewegten Papierstreifen hervorbringt. Mit P sind rechtwinklig die beiden Arme a a′, einer für jeden Strom, verbunden, indem der eine Strom für die Vertical-

komponente, der andere Strom für die Horizontalkomponente der Schriftzüge dient. Es genügt zur Erklärung nur den einen Stromkreis zu betrachten, z. B. denjenigen, der mit dem Arme a verbunden ist. Ein Pol der Geberbatterie B ist mit dem Arme a, der andere Pol mit der Erde verbunden. An seinem freien Ende ist jeder der Arme a und a′ mit einem verschiebbaren Kontakte versehen, und bei der Bewegung des Stiftes gleiten die Arme über je eine Reihe dünner Metallschienen c c′ hin, welche von einander isoliert sind. Zwischen jedem Plattenpaare befindet sich eine Widerstandsspirale eingeschaltet und die letzte dieser Spiralen ist mit der Leitung L L′ verbunden. Je weiter a (oder a′) nach auswärts über die Kontaktschienen gleitet, durch um so weniger Spiralen geht der Strom hindurch, indem

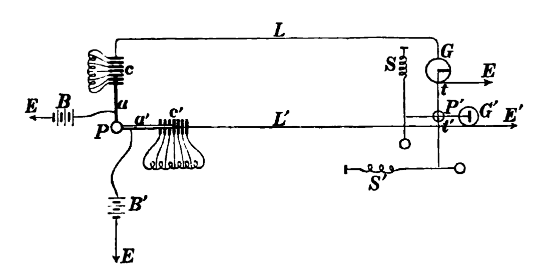


Fig. 319.

durch a ein kurzer Schluß gebildet wird. Je weniger aber Spiralen zwischen Batterie und Leitung eingeschaltet sind, ein desto stärkerer Strom tritt in die Leitung, so daß demnach die Bewegung des Stiftes beim Schreiben fortwährend Stromschwankungen in den beiden hier vorhandenen Leitungsdrähten erzeugt. Bei einem langen Striche des Schreibstiftes tritt also ein starker Strom in die Leitung, bei einem kurzen Striche ist der Strom in der Leitung nur schwach.

An der Empfangsstation fließt der Strom durch ein kräftiges Galvanometer G nach der Erde bei E. Dieses Galvanometer, von dem zwei — für jeden Stromkreis eins — vorhanden sind, hat eine starke Nadel, von der das eine Ende durch einen Faden t mit dem Kopierstifte P′ verbunden ist, während ein zweiter, mit einer Feder S verbundener Faden t′ den Stift nach der andern Seite zieht. Der Strom der Leitung L′ fließt durch ein ähnliches Galvanometer G′ nach

r Erde bei E′, dessen Nadel mit dem Kopierstifte durch den Faden t′ rbunden ist, welcher durch die Feder S′ gespannt erhalten wird. ndem nun die Nadel jedes der beiden Galvanometer entsprechend er in jedem Momente in ihrer Leitung wechselnden Stromstärke on ihrer Ruhelage abgelenkt wird, muß der Kopierstift P′ sich enau so bewegen, wie der von der Hand des Absenders geführte Schreibstift P am Geber.

3) Die Typendrucktelegraphen drucken die Depeschen mit gewöhnlichen Schriftzeichen (Typen) auf einen ablaufenden Papierstreifen. Der vollkommenste Apparat dieser Art ist der von Hughes, bei welchem die regelmäßige Umdrehung des die Typenräder treibenden Laufwerkes durch ein konisches Pendel mit Bremsvorrichtung vermittelt wird. Durch die Verschiebung der Pendelkugel ist man imstande, die Geschwindigkeit des mittels Gewichtes betriebenen Laufwerkes genau zu regulieren.

Eine große Schwierigkeit im Betriebe dieser Klasse von Apparaten liegt darin, daß das rasch rotierende Rad, auf dessen Umfange die Typen sitzen, am Empfänger stets genau dieselbe Geschwindigkeit haben muß wie am Geber, damit der am letztern markierte Buchstabe auch bei dem Empfangstypenrade auf den immer an derselben Stelle momentan anzudrückenden Papierstreifen trifft. Beim Hughesschen Apparate ist diese schwierige Aufgabe am besten gelöst.

166. Zu welchem Zwecke dient ein Relais und wie ist dessen Einrichtung?

Das Relais hat den Zweck, den zum sichern Betrieb eines Telegraphenapparates nötigen Strom durch Einschaltung einer Lokalbatterie zu verstärken und somit zu bewirken, daß der Betrieb mit einem schwachen Hauptstrome ausführbar ist. Seiner Konstruktion nach ist das Relais ein Taster, welcher durch den Strom genau so bewegt wird, wie der Taster des Gebers, d. i. wie der Taster der sprechenden Station. Anstatt des mit der Hand drückbaren Knopfes, wie solchen der Gebertaster hat, ist der Relaistaster mit einem Anker versehen, der durch einen vom Hauptstrome erregten Elektromagnet angezogen wird und dadurch die Lokalbatterie schließt, so daß deren Strom den Betrieb des Empfängers genau übereinstimmend mit dem Betriebe des Gebers vermittelt.

Einunddreißigstes Kapitel.

Die Sprechtelegraphie.

167. Welcher Apparate bedient sich die Sprechtelegraphie?

Die Sprechtelegraphie bedient sich zur Mitteilung der **telephonischen Apparate**, die als Sprechtelephon (Sender oder **Übertrager**) und als Hörtelephon (Geber oder Empfänger) **unterschieden** worden.

168. Wie war das erste Telephon konstruiert?

Bei dem von dem deutschen Physiker Philipp Reis zuerst erfundenen telephonischen Apparat (Fig. 320) bestand der **Sender** aus einem Holzkasten mit Schalltrichter und einer im **durchlochten** Deckel

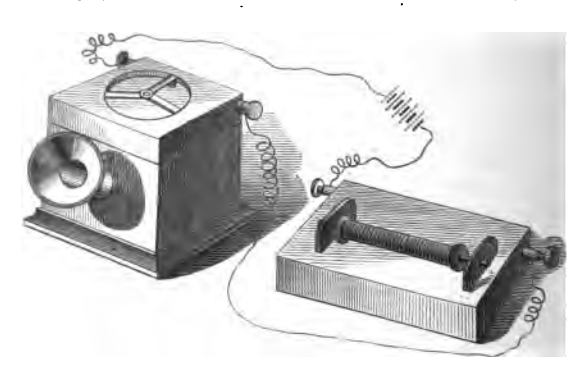


Fig. 320.

ausgespannten Schallmembran, in deren Mitte ein Kontaktscheibchen aus Platin befestigt war, gegen welche eine federnde Lamelle in der Weise wirkte, daß bei den Vibrationen der Membran der Kontakt sich entsprechend öffnete und schloß, so daß in dem damit verbundenen Stromkreise einer galvanischen Batterie ebensoviele Stromunterbrechungen entstanden, als die Schallwelle Schwingungen machte. Diese Stromzuckungen wurden im Geber auf eine Drahtspirale übertragen, welche einen schwachen Eisenkern (eine Nadel) umschloß, die zum Tönen gebracht wurde, indem sie durch die Stromzuckungen in Längsschwingungen versetzt wurde.

169. Welches sind die jetzt gebräuchlichsten Telephone?

1) Das Bellsche Telephon (Fig. 321). Die von den hallwellen in Vibrationen versetzte elastische Membran (Diaphragma) teht aus einer aus weichem Eisen hergestellten dünnen Blech- eibe a a, vor welcher sich das ausgehöhlte Mundstück b befindet, ährend dahinter ein kräf- ger Stabmagnet n s ist, essen der Membran zu- ächst gelegenes Ende mit inem aus weichem Eisen estehenden Ansatze versehen ist, worauf eine elektro- magnetische Drahtrolle c c steckt, deren Enden mit dem Leitungsdrahte verbunden sind. Durch die vom Sprechen in das Mundstück des Sprechtelephons erregten Vibrationen der Membran werden in der den Magnet umgebenden Drahtrolle Induktionsströme erregt, deren Dauer mit der Dauer der Vibrationen

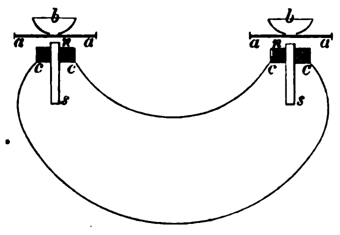


Fig. 321.

der Membran zusammenfällt. Umgekehrt wird bei dem Hörtelegraphen die Membran durch die infolge der Induktionsströme variierende Kraft des Magnets in Schwingungen versetzt, die mit den Vibrationen der Sendermembran isochron sind und im Ohre genau als dieselben Schallschwingungen sich bemerkbar machen, wie diejenigen waren, durch welche die Sendermembran erregt wurde.

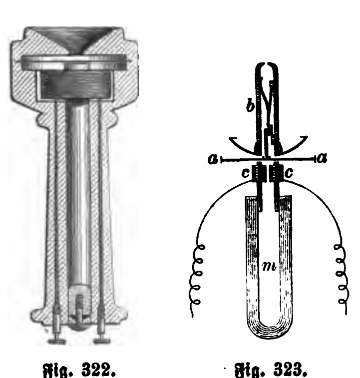


Fig. 322. Fig. 323.

Die wirkliche Einrichtung des Bellschen Telephons illustriert Fig. 322. Die End- oder Induktionsspiralen sind aus dem Gehäuse herausgeführt und mit Schraubenklemmen zum Einschalten in den Stromkreis verbunden.

2) Das Siemenssche Telephon (Fig. 323) ähnelt durch seine äußere Form dem Bellschen Telephon, ist aber in der innern

Einrichtung verschieden. Der hufeisen- oder glockenförmige Magnet m ist mit Polplatten versehen, worauf die Drahtspulen c c sitzen. Auf der Öffnung des vor der Membran a a befindlichen Mundstücks b sitzt ein Rohr mit einer elastischen Zunge, die mit der Membran durch eine Stange verbunden ist und ihre Vibrationen auf die Membran überträgt. Die Zunge wird zum Signalgeben durch Hineinblasen beim Beginn der Unterhaltung benutzt.

3) Das Gowersche Telephon (Fig. 324) ist insofern dem Siemensschen Telephon ähnlich, als beide mit Drahtspulen c c umgebene Magnetpole dicht vor der Membran a a liegen, wodurch die induzierende Wirkung verstärkt wird; auch ist die Membran größer als beim Bellschen Telephon. Der Apparat befindet sich in einem dosenförmigen Gehäuse, das im Deckel mit einer Öffnung versehen ist, worauf ein zum Sprechen und Hören dienendes Rohr sitzt. Auf der Membran sitzt eine kleine Zunge, welche zum Zweck des Signalgebens durch Hineinblasen in Vibrationen versetzt wird.

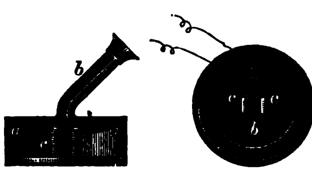


Fig. 324.

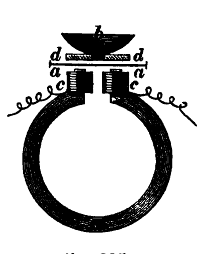


Fig. 325.

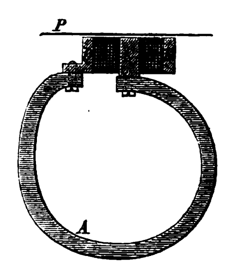


Fig. 326.

4) Das Adersche Telephon (Fig. 325) ist in der Einrichtung dem vorigen ähnlich, nur ist ein ringförmiger Magnet m benutzt und unter dem Mundstück b liegt oberhalb der Membran a a ein Eisenring d d, welcher zur Verstärkung der Induktionswirkung dienen soll.

5) D'Arsonvals Telephon (Fig. 326) ist mit einem sogenannten Glockenmagnet A versehen, bei welchem der eine Pol C

von dem andern Pole D konzentrisch umschlossen wird und dazwischen sich die somit vollständig vom Magnet umgebene Induktionsspirale B befindet und um so kräftiger auf die Membran P wirken kann.

6) Böttchers Telephon (Fig. 327) ist als Telephon mit schwebendem Magnet zu bezeichnen, indem zum Unterschiede von allen anderen Systemen der Magnet m nicht mit dem Gehäuse fest verbunden, sondern mittels Schrauben s und Stahldrähte freischwebend darin aufgehängt ist, sodaß derselbe an den Schwingungen der Membran a teilnimmt. Bei der Annäherung der Membran wird der Magnet verstärkt, im umgekehrten Falle geschwächt. Hierdurch werden die Vibrationen der Membran und folglich auch die Induktionsströme um so energischer.

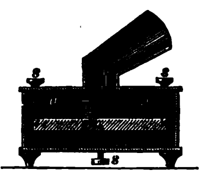


Fig. 327.

7) Thompsons Nadeltelephon (Fig. 328) beruht, ähnlich wie das Reissche Telephon, auf der Wiedergabe der Töne mittels einer durch die Stromschwankungen in Vibration versetzten Eisennadel W, welche bei M M mit magnetischen Massen versehen ist, um die magnetischen Erregungen und damit auch die tönenden Zuckungen der Nadel zu verstärken.

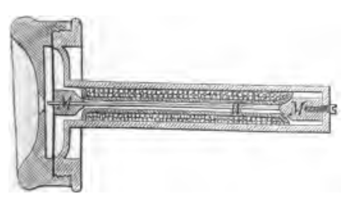


Fig. 328.

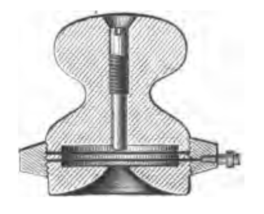


Fig. 329.

8) Dolbears Kondensatortelephon repräsentiert insofern ein ganz besonderes telephonisches System, als darin der Geber d. i. das Hörtelephon auf der Anwendung eines elektrischen Kondensators beruht, der — wie Fig. 329 zeigt — durch zwei parallele Eisenmembrane gebildet wird, die zwischen sich eine dünne Luftschicht einschließen und mittels einer Schraube in ihrer gegenseitigen Entfernung reguliert werden können. Beide Membrane sind von einander isoliert. Die eine Membran ist mit der Strom-

leitung, die andere mit der Erde verbunden, so daß also auf diese Weise die letztere Membran zur ersten nach dem Gesetze der statischen Influenz mit entgegengesetzter Elektrizität geladen wird.

Der Sender, d. i. das Sprechtelephon (Fig. 330), besteht bei Dolbears System aus einem ovalen Gehäuse, hinter dessen Schalltrichter

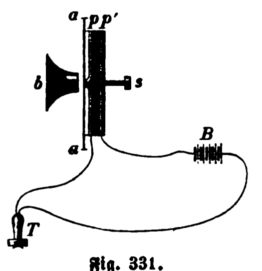
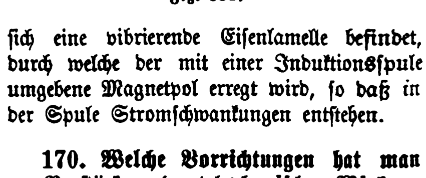


Fig. 330. Fig. 331.



sich eine vibrierende Eisenlamelle befindet, durch welche der mit einer Induktionsspule umgebene Magnetpol erregt wird, so daß in der Spule Stromschwankungen entstehen.

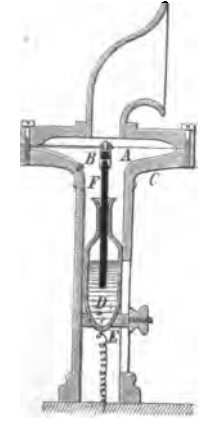


Fig. 332.

170. Welche Vorrichtungen hat man zur Verstärkung der telephonischen Wirkung benutzt?

Hierzu dient: Das Edisonsche Kohlentelephon (Fig. 331). Dasselbe besteht aus einer hinter dem Schalltrichter b befindlichen elastischen Membran a, deren durch die Schallwellen erregten Vibrationen einen variablen Druck auf eine Schicht fein zerteilten Kohlenstoffes (Lampenruß) ausüben; die Kohlenstoffschicht ist zwischen zwei Metallscheiben p p' gepreßt, welche mit dem Stromkreise der Batterie B, in welcher ein Telephon eingeschaltet ist, in Verbindung stehen.

Hopkins' Kohlentelephon besteht aus einem Sender Fig. 332, welcher im Gehäuse C mit einer aus Marienglas

stehenden Membran A versehen ist, die in der Mitte ein Kohlenknöpfchen B trägt; dasselbe ist mit einer Papierhülse umgeben, in welche lose das im Quecksilbergefäß D schwimmende Kohlenstäbchen F hineinragt und mit dem Kohlenknöpfchen B einen durch die Membranvibrationen influierten Kontakt bildet. Bei E ist das Quecksilber in den Stromkreis eingeschaltet; andrerseits steht die Membran mit dem Stromkreise in Verbindung.

Fig. 333 zeigt die Verbindung dieses Kohlensenders mit einem gewöhnlichen telephonischen Geber R (Bells Telephon) durch die Induktionsspule C. Der Primärdraht a b der letztern bildet den Stromkreis des Senders T, während der Sekundärdraht d nach dem Geber R und bei G nach der Erde geht. L ist die telephonische Leitung.

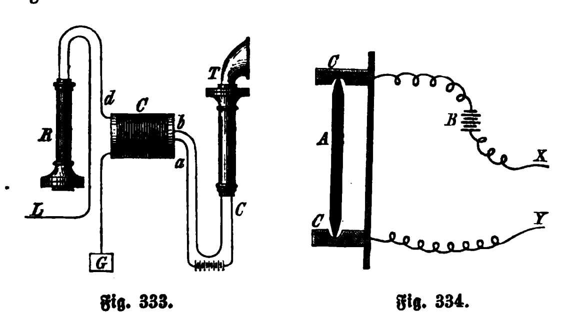


Fig. 333. Fig. 334.

Hughes' Mikrophon beruht auf der Einschaltung gewisser Körper in den telephonischen Stromkreis, welche ihren Widerstand in Übereinstimmung mit dem Drucke ändern, dem sie infolge der Einwirkung der Schallschwingungen ausgesetzt sind. Fig. 334 zeigt die einfachste Form des Hughesschen Mikrophons, welches aus einem zwischen zwei an einem Resonanzbrett befestigten Kohlenklötzchen C C locker eingespannten Kohlenstäbchen A besteht. Mittels der Drähte X Y, die mit einem Telephon verbunden sind, ist das Kohlenstäbchen in den Stromkreis der Batterie B eingeschaltet.

Fig. 335 S. 338 stellt Hughes' mikrophonischen Untersuchungsapparat dar, welcher von demselben zur Feststellung der Theorie der mikrophonischen Wirkung und zur Untersuchung verschiedener Substanzen auf diese Wirkung benutzt wurde. R ist der mikrophonische Empfänger, bestehend aus einem hohlen Blech-

cylinder, der mit Pergament überspannt ist. In der Mitte der so gebildeten Membran liegt ein Holzscheibchen und darauf ruht ein Brettchen mit einem Messinghebel, welcher zwei Kohlenscheibchen in Kontakt bringt. T ist der mikrophonische Übertrager mit dem Kohlenstäbchen K; B eine galvanische Batterie und C eine Taschenuhr, deren Ticken übertragen wird. Der Apparat überträgt auch Worte und ist äußerst empfindlich.

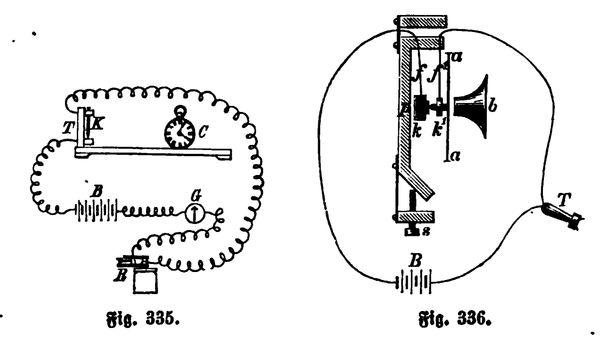


Fig. 335. Fig. 336.

Blakes' Übertrager (Fig. 336) besteht aus zwei Kohlenstäbchen k k¹, welche durch die sie tragenden Federn f f¹ gegen einander gepreßt werden; diese Federn dienen zugleich als Stromleiter und sind mit einem beweglichen Metallstück p verbunden, welches mittels der Stellschraube s gegen die Membran a gepreßt wird.

Der Adersche Übertrager (Fig. 337 im Auf- und Grundriß) besteht aus einem Resonanzkasten, unter dessen dünnen Tannenholzdeckel zwei Reihen Kohlenstäbchen durch Stege gehalten werden. Der Kastenboden besteht aus einem Bleiblock, durch welchen störende Erschütterungen vom Mikrophon abgehalten werden. Dieser Apparat wurde benutzt, um Gesang und Musik von der Theaterbühne aus nach einem entfernten Lokal zu übertragen.

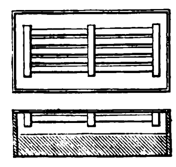
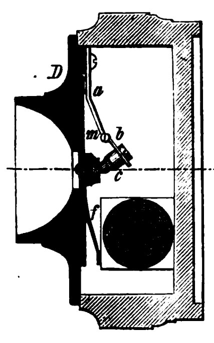


Fig. 337.

Berliners Übertrager (Fig. 338) besteht aus einer Büchse, die durch einen Deckel mit Schalltrichter geschlossen ist. Die mit einem Kautschukring versehene Membran wird beim Schließen des Deckels bei a festgeklemmt und in ihren Schwingungen durch

die Feder f gedämpft; der an einem Arme b bei m pendelnde Kohlenstift c legt sich gegen ein Kohlenscheibchen an, das auf der Mitte der Membran sitzt, und übt auf dasselbe bei den Schwingungen der Membran einen veränderlichen Druck aus, wodurch der Widerstand der in den Stromkreis eingeschalteten Kohlenkontakte verändert wird und im Stromkreise entsprechende Stromschwankungen entstehen. Die Induktionsspule b ist durch ihren Hauptdraht mit dem Batteriestromkreise des Kohlenkontaktes und durch ihren Nebendraht mit dem Telephon verbunden.



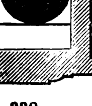


Fig. 338.

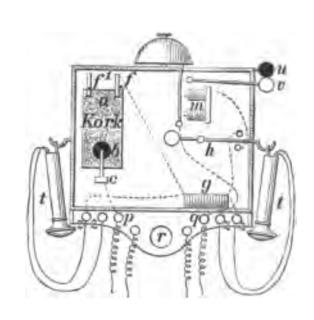


Fig. 339.

Léon de Locht-Labys Pantelephon (Fig. 339) besteht aus einer Korkplatte a, die an den Federn ff¹ aufgehängt ist und an deren unterm Teil sich ein Kohlenscheibchen b befindet, auf welchem ein bei c drehbarer Hebel mit einem Platinknopf aufliegt. Von dem Hebel geht ein Leitungsdraht nach p, während von der Kohle b ein zweiter Leitungsdraht nach der Feder f und von da nach der Induktionsrolle g führt, deren Hauptdraht mit p und q verbunden ist, während ihr Nebendraht nach z z geht. Von den Knöpfen p und q führen Drähte durch eine galvanische Batterie aus vier Meidinger- oder Leclanché-Elementen nach der zweiten Station. Mit jedem Apparate sind zwei Telephone t verbunden, eines für jedes Ohr, außerdem ist ein elektrisches Läutewerk vorhanden, auf welches der Elektromagnet m wirkt. Hängt das Telephon rechts am Hebel, so ist das Läutewerk im Stromkreise, das Mikrophon aber ausgeschaltet; wird dann auf den Knopf r

22*

cylinder, der mit Pergament überspannt ist. In der Mitte der so gebildeten Membran liegt ein Holzscheibchen und darauf ruht ein Brettchen mit einem Messinghebel, welcher zwei Kohlenscheibchen in Kontakt bringt. T ist der mikrophonische Übertrager mit dem Kohlenstäbchen K; B eine galvanische Batterie und C eine Taschenuhr, deren Ticken übertragen wird. Der Apparat überträgt auch Worte und ist äußerst empfindlich.

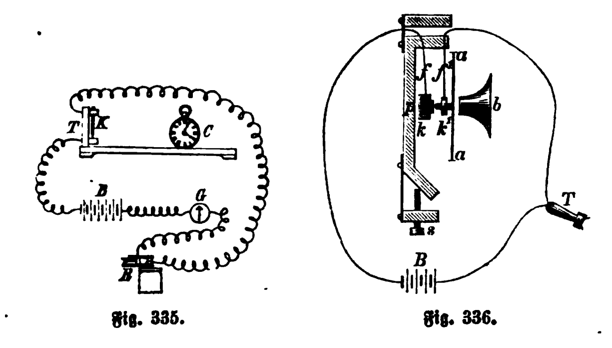


Fig. 335. Fig. 336.

Blakes' Übertrager (Fig. 336) besteht aus zwei Kohlenstäbchen k k¹, welche durch die sie tragenden Federn f f¹ gegen einander gepreßt werden; diese Federn dienen zugleich als Stromleiter und sind mit einem beweglichen Metallstück p verbunden, welches mittels der Stellschraube s gegen die Membran a gepreßt wird.

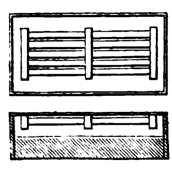
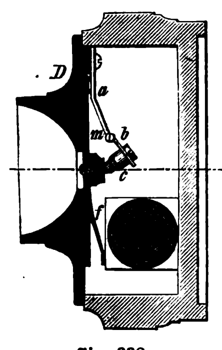


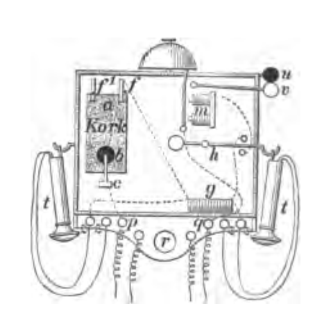
Fig. 337.

Der Adersche Übertrager (Fig. 337 im Auf- und Grundriß) besteht aus einem Resonanzkasten, unter dessen dünnen Tannenholzdeckel zwei Reihen Kohlenstäbchen durch Stege gehalten werden. Der Kastenboden besteht aus einem Bleiblock, durch welchen störende Erschütterungen vom Mikrophon abgehalten werden. Dieser Apparat wurde benutzt, um Gesang und Musik von der Theaterbühne aus nach einem entfernten Lokal zu übertragen.

Berliners Übertrager (Fig. 338) besteht aus einer Büchse, die durch einen Deckel mit Schalltrichter geschlossen ist. Die mit einem Kautschukring versehene Membran wird beim Schließen des Deckels bei a festgeklemmt und in ihren Schwingungen durch

die Feder f gedämpft; der an einem Arme b bei m pendelnde Kohlenstift c legt sich gegen ein Kohlenscheibchen an, das auf der Mitte der Membran sitzt, und übt auf dasselbe bei den Schwingungen der Membran einen veränderlichen Druck aus, wodurch der Widerstand der in den Stromkreis eingeschalteten Kohlenkontakte verändert wird und im Stromkreise entsprechende Stromschwankungen entstehen. Die Induktionsspule b ist durch ihren Hauptdraht mit dem Batteriestromkreise des Kohlenkontaktes und durch ihren Nebendraht mit dem Telephon verbunden.





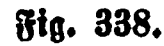

Fig. 338.

Fig. 339.

Léon de Locht-Labys Pantelephon (Fig. 339) besteht aus einer Korkplatte a, die an den Federn f f^1 aufgehängt ist und an deren unterm Teil sich ein Kohlenscheibchen b befindet, auf welchem ein bei c drehbarer Hebel mit einem Platinknopf aufliegt. Von dem Hebel geht ein Leitungsdraht nach p, während von der Kohle b ein zweiter Leitungsdraht nach der Feder f und von da nach der Induktionsrolle g führt, deren Hauptdraht mit p und q verbunden ist, während ihr Nebendraht nach z z geht. Von den Knöpfen p und q führen Drähte durch eine galvanische Batterie aus vier Meidinger- oder Leclanché-Elementen nach der zweiten Station. Mit jedem Apparate sind zwei Telephone t verbunden, eines für jedes Ohr, außerdem ist ein elektrisches Läutewerk vorhanden, auf welches der Elektromagnet m wirkt. Hängt das Telephon rechts am Hebel, so ist das Läutewerk im Stromkreise, das Mikrophon aber ausgeschaltet; wird dann auf den Knopf r

gedrückt, so läutet es auf der andern Station. Das Herabfallen des kleinen Schildes v von der schwarzen Scheibe u gilt als Zeichen, daß das Signal auf der Gegenstation gehört wurde. Die Telephone werden dann abgehängt, wodurch der Hebel h in die Höhe geht und das Läutewerk ausschaltet, das Mikrophon dagegen einschaltet, so daß das Sprechen beginnen kann. Der Apparat ist sehr empfindlich und es kann selbst aus einigen Metern Distanz gegen die Korkplatte gesprochen werden, ohne daß die Deutlichkeit der telephonischen Wiedergabe darunter leidet.



Fig. 340 a.

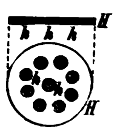


Fig. 340 b.

Eldreds Telephon (Fig. 340 a u. 340 b) ist ein mikrophonischer Sender, bei welchem mehrere Kohlenkontakte in Form durchlöcherter Scheiben H, deren Löcher mit Kohlenpulver gefüllt sind, als Mikrophon zur Anwendung kommen. Die Kohlenscheibe liegt auf einer Bronceunterlage I und einem dünnen Platindiaphragma D, die Unterlage steht mit dem Leitungsdrahte P′ und das Diaphragma durch einen Kupferring mit dem Drahte P in Verbindung. Vor dem Diaphragma ist ein Schutzgitter G angebracht. Das Mundstück ist zur Luftzirkulation mit Löchern t t versehen. Es können mehrere derartige Sender in Parallelschaltung mit der Batterie je durch eine Hauptspirale verbunden sein, während die Nebenspiralen der Induktionsspulen unter einander verbunden sind und das eine Ende nach der Erde geführt, das andere Ende mit der Leitung verbunden ist. Auf diese Weise wird eine erhöhte Wirkung des Senders erzielt.

Lüdtges Universaltelephon (Fig. 341 a und 341 b) besteht in der Hauptsache aus einem Kontakt zwischen Kohle, Eisen oder Platin. Die Kontaktkörper sind a, b (Fig. 341 b); dieselben sind mit der Mitte der Membran M verbunden und schwingen mit derselben. Beide Kontaktstücke sind in viereckigen Messingrahmen A und B befestigt, welche mittels zweier Kautschukbänder p und q verbunden

sind, um störende Schwingungen zu verhüten. Der Apparat wird an zwei Zapfen aufgehängt. N (Fig. 341 a) ist ein Nebenschluß bei Ausschaltung des Mikrophons; k l sind die Klemmen für die Leitungsdrähte; B unten rechts in der Figur ist die Batterie und T das als Geber dienende Telephon.

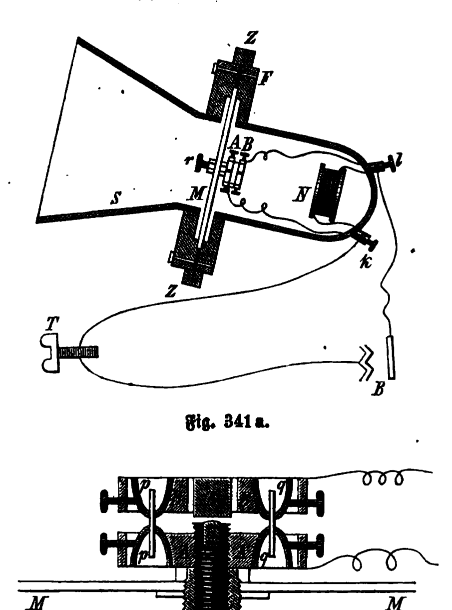


Fig. 341 a.

Fig. 341 b.

171. Welche Einrichtung kann man den elektrischen Signalglocken geben?

Die Signalglocken oder Klingeln, welche bei telephonischen Anlagen zur Anwendung kommen, sind auf eine rasche Folge von tönenden Schlägen eingerichtet. Fig. 342 S. 342 zeigt eine solche Signal- oder Weckerglocke nach Dr. Plettners Konstruktion, wobei beliebig viele Klingeln mit Selbstunterbrechung wie G1

eingeschaltet werden können. Jede solche Klingel ist mit einem Taster wie T_1 zwischen zwei Punkten a und b der Leitungen L_1 und L_2 eingeschaltet. An der Hauptstation befindet sich die Batterie B und eine gemeinschaftliche Klingel G_0 ohne Selbstunterbrechung. Wird mit dem Taster T die Metallfeder f auf den Amboß e niedergedrückt, so geht der Batteriestrom aus L_1 über a in der Feder c nach dem Anker des Klöppelhebels d der Glocke G_1, durch deren Elektromagnet E_1 über f und e nach b in L_2 und dann durch den Eletromagnet E_0 von G_0 nach der Batterie B zurück. Wenn E_1 seinen Anker anzieht, so wird der Strom zwischen c d unterbrochen, so daß der Hebel d sofort von der Glocke zurückschnellt und den Strom wiederherstellt, daher das Klingeln so lange fortdauert, als der Taster T_1 niedergedrückt wird. Zum Rücksignal wird d mit der Hand an die Glocke G_1 leicht angedrückt, worauf bei G_0 das Klingeln aufhört.

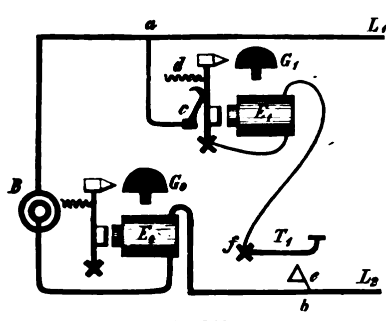


Fig. 342.

Siegels elektrische Glocke (Fig. 343). Der Mechanismus befindet sich unter der Glocke B auf einer am Glockenpfeiler befestigten Platte A und besteht aus dem Elektromagnet C, welcher durch Anziehung seines Ankers den Klöppel zum Anschlag gegen die Glocke bringt. Sobald der Anker angezogen wird, wird der Kontakt bei a unterbrochen und der Anker schnellt mit dem Klöppel zurück. Bei d ist die Klemme.


Fig. 343.

172. Wie ist eine Haustelephonanlage einzurichten?

Eine derartige Anlage zwischen zwei Stationen, z. B. zwischen einem Comptoir und einer Fabrik, stellt Fig. 344 dar. Beide Stationen sind durch einen galvanisierten Eisendraht (gewöhnlichen Telegraphendraht) verbunden und die Rückleitung geht durch die

Erde. Auf jeder Station befindet sich ein Telephon t resp. t', eine Batterie B aus drei bis vier Leclanché-Elementen, eine elektrische Klingel S und ein Umschalter 0. Letzterer besteht aus einer Holzscheibe mit drei

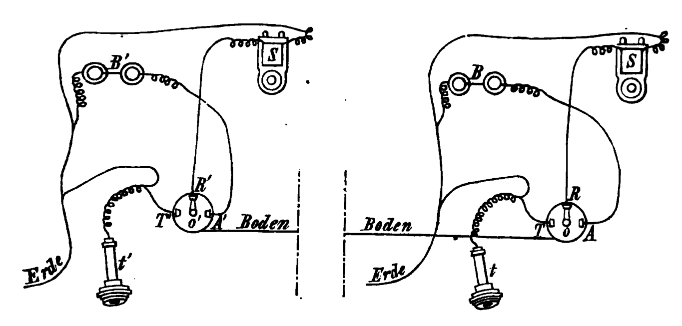


Fig. 344.

eingelassenen Kupferplättchen A R T und einer kupfernen Kurbel, welche mit je einem der drei Plättchen in Kontakt gebracht werden kann. A steht mit dem positiven Pole der Batterie B, R mit der Klingel S und T mit dem Telephon t, die Mitte 0 aber mit der andern Station in Verbindung. Der negative Pol der Batterie ist mit der Erde verbunden und dahin geht auch der zweite Draht der Glocke und des Telephons. Im Ruhezustande steht die Kurbel stets auf R, so daß für die andere Station der Stromweg nach der Klingel herzustellen ist. Wird nach A gedreht, so tönt die Klingel der andern Sation, wird nach T gedreht, so kann man mit der andern Station telegraphieren.

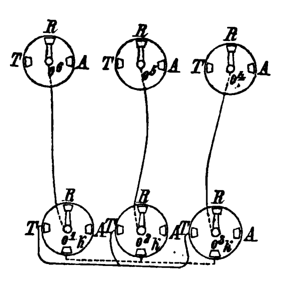


Fig. 345.

Fig. 345 stellt die Einrichtung einer Zentralstation mit drei Nebenstationen dar. Auf der Hauptstation befinden sich deshalb drei Umschalter 0^1 0^2 0^3 nebst Glocken und Telephonen, durch welche je zwei der vier Stationen mit einander in Verbindung gesetzt werden können, außerdem kann man aber auch von der Haupt-

station aus je zwei der drei Nebenstationen verbinden. Dies geschieht durch Drehung der Kurbel auf die Platten k, welche auf den Stromwendern der Hauptstation außer den Platten A R T noch vorhanden und untereinander verbunden sind.

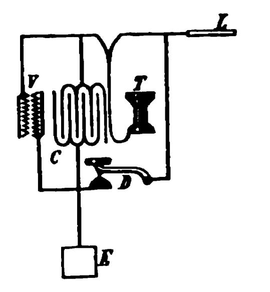


Fig. 346.

173. Wie läßt sich eine Privattelephonanlage mit einer Batterie einrichten?

Um bei einer Privattelephonanlage bloß auf der Haupt- oder Umschaltestation eine Batterie nötig zu haben und zugleich die Ausrüstung der Nebenstationen zu vereinfachen hat Schubert in Breslau eine Schaltungsweise angewendet, bei welcher in jeder Nebenstation die von der Hauptstation kommende Leitung L (Fig. 346) durch das Telephon T bis zu der einen Belegung eines Kondensators C läuft, dessen andere Belegung mit der Erde E verbunden ist. Außerdem kann die Leitung L durch Niederdrücken des Tasters D unmittelbar mit der Erde verbunden werden. Bei V ist ein Blitzableiter angebracht.

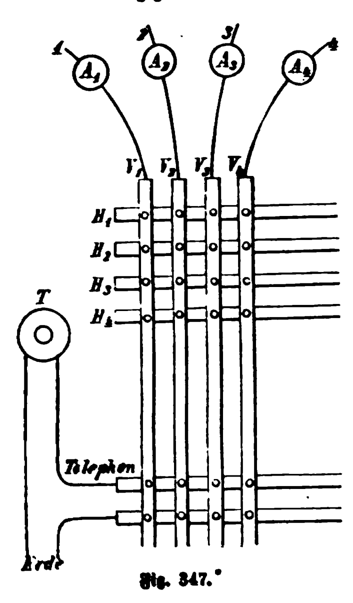


Fig. 347.

174. Wie sind die Umschalter für Zentralstationen einzurichten?

Diese Einrichtung ist so zu treffen, daß zu jeder Zeit die Abonnenten der Zentralstation mit einander verkehren können. Fig. 347

stellt einen solchen Umschalter dar; derselbe besteht aus horizontalen und verticalen Kupferlamellen, die in den Überkreuzungspunkten durch Einstecken von Stöpseln verbunden werden können, um die Stromleitung herzustellen. Die mit den Abonnenten 1, 2, 3, 4 ... verbundenen Leitungen sind, nachdem dieselben die Rufapparate A_1, A_2, A_3, A_4 ... durchlaufen haben, mit den verticalen Lamellen V_1, V_2, V_3, V_4 ... verbunden, hinter welchen die horizontalen Lamellen H_1, H_2, H_3, H_4 ... isoliert von jenen in das Brett des Apparats eingelassen sind. Jede beliebige Verticallamelle läßt sich mittels

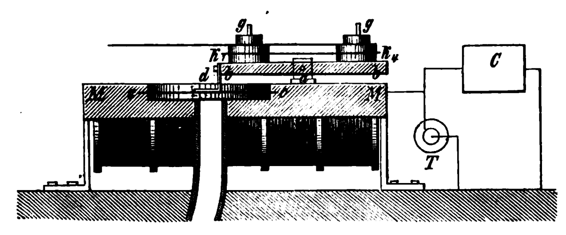


Fig. 348 a.

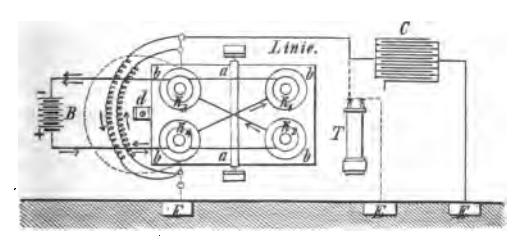


Fig. 348 b.

eines Stöpsels mit jeder beliebigen Horizontallamelle verbinden und somit der telephonische Verkehr zwischen zwei Abonnenten bewerkstelligen. Im Ruhezustande sind die Verticallamellen mit der Erde oder mit der Retourleitung durch eine besondere horizontale Lamelle verbunden und eine andere solche Lamelle steht mit dem Telephon der Zentralstation in Verbindung.

175. Welche Einrichtung hat das Herzsche Telephonsystem?

In diesem System, das besonders zum Sprechen auf große Distanz berechnet ist, besteht der Sender (Fig. 348 a und 348 b)

aus einer um die Axe a a drehbaren oszillierenden Platte b b, welche an den Seiten durch kleine Winkelträger mit der Schallmembran c verbunden ist. Durch die Schallwellen wird die Platte b in Oszillationen um ihre Axe versetzt, so daß die vier auf der Platte sitzenden Kohlenkontakte k_1, k_2, k_3, k_4 ins Spiel kommen, indem auf denselben Kohlenscheibchen durch kleine Gewichte *g* angedrückt werden. Die Verbindung dieser Kontakte unter sich und mit der Batterie B zeigt Figur 348 b. Bei C befindet sich ein Kondensator; T ist das Telephon und E die Erdplatte.

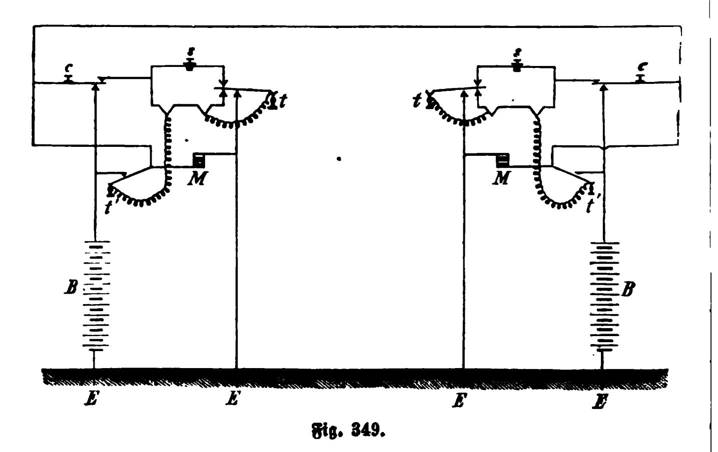


Fig. 349.

Fig. 349 zeigt eine Herzsche Telephonanlage zwischen zwei Stationen. Wenn die beiden Telephone am Apparate hängen, so kann die Anrufung zwischen den Stationen durch Niederdrücken des Knopfes c mittels Glockensignals erfolgen. Hat die andere Station geantwortet, so werden die Telephone abgenommen und durch die emporgehenden Hebel der Kontakt mit der Leitung geschlossen, indem der Strom der Batterie B durch die Kontakte hindurchgeht. Der eine Teil des Stromes geht hierbei durch die Leitung, der andere Teil durch das Mikrophon nach der Erde.

176. Was versteht man unter Radiophonie?

Unter Radiophonie versteht man die Übertragung und Reproduktion von Schallwellen mittels Lichtstrahlen auf telephonischem Wege.

177. Welche Apparate benutzt man in der Radiophonie?

Es dient hierzu das von Bell erfundene Photophon, bei welchem man die Eigentümlichkeit des Selenmetalles benutzt, seinen elektrischen Widerstand mit der Intensität der darauffallenden Lichtstrahlen zu verändern. Fig. 350 illustriert die Anordnung einer photophonischen Anlage. Die von irgend einer Lichtquelle kommenden Strahlen werden von dem Spiegel M in geeignete Richtung gebracht, von der Linse L^1 konzentriert, dann durch einen kleinen Glaskasten C mit Alaunlösung geführt, um die Wärmestrahlen zu absorbieren, welche störenden Einfluß ausüben, und alsdann auf das aus versilbertem Glas oder Marienglas bestehende reflektierende Diaphragma D geworfen. Von hier gehen die Strahlen durch eine zweite Linse L^2, welche dieselben auseinanderlenkt, worauf sie auf einen parabolischen

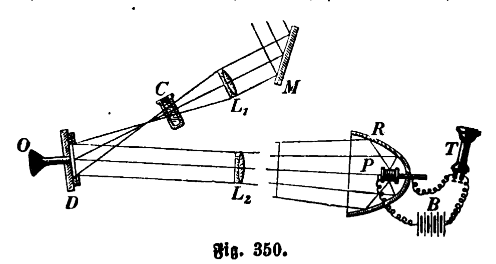


Fig. 350.

Reflektor R fallen, in dessen Fokus sich die sogenannte Selenzelle oder Photosäule befindet; die letztere hat etwa 25 mm Durchmesser und besteht aus Messingscheibchen, welche je durch eine etwas kleinere Scheibe von Marienglas getrennt und durch dünne Messingbolzen zusammengezogen sind, wobei die Messingscheiben sich abwechselnd in leitender Verbindung mit diesen Bolzen befinden, so daß der elektrische Strom, welcher durch die Bolzenköpfe einerseits ein- und andererseits austritt, gewissermaßen im Zickzack durch die Säule hindurchgehen muß. Die infolge der etwas kleineren Marienglasscheiben am Umfange des so gebildeten Cylinders vorhandenen Furchen sind mit Selenmetall ausgefüllt, so daß der Umfang der Säule zwischen den einzelnen Messingscheiben von dünnen Selenringen umgeben ist. Bei B ist die Batterie und bei T das Hörtelephon eingeschaltet, während durch das vor dem reflektierenden Diaphragma befindliche Mundstück C gesprochen wird.

Zweiunddreißigstes Kapitel.

Wissenschaftliche Verwendung des Telephons.

178. Welche Erscheinungen sind zur Konstruktion der Induktionswage maßgebend gewesen?

Der Einfluß, welchen die Induktion auf Metallmassen ausübt, ist schon lange der Gegenstand zahlreicher Untersuchungen gewesen und das Prinzip der Ausgleichung der Induktionswirkung in einem Teile eines Stromkreises durch gleiche und entgegengesetzte Wirkungen, die auf einen andern Teil hervorgebracht werden, ist fast bei allen derartigen Untersuchungen zur Anwendung gekommen. Die erste Induktionswage wurde 1841 von Dove in Berlin konstruiert, einen wesentlich verbesserten Apparat dieser Art hat Hughes neuerdings erfunden.

179. Wie ist die Hughessche Induktionswage konstruiert?

Der Apparat (Fig. 351) besteht aus zwei hohlen Cylindern von Holz oder Ebonit; auf jeden derselben sind zwei Drahtrollen auf-

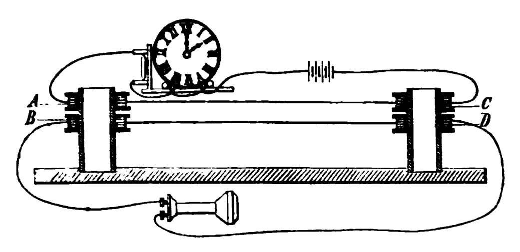


Fig. 351.

gesteckt; dieselben bestehen aus einer gleichen Anzahl von Windungen desselben Drahtes, aber auf jedem Cylinder sind die beiden Rollen entgegengesetzt zu einander gewickelt, so daß die Induktionswirkungen des Batteriestromkreises A C auf den Sekundärstromkreis B D sich vollständig ausgleichen und daher eine mit dem mikrophonischen Sender in Verbindung gebrachte Taschenuhr das Telephon nicht zum Wiedergeben ihres Geräusches zu affizieren vermag. Wird aber in den einen Cylinder ein Metallstück gelegt, so kommt das Telephon sofort zur Wirkung, indem dadurch das Gleichgewicht der Induktion aufgehoben ist.

180. Wie ist Hughes' Audiometer beschaffen?

Das Audiometer (Fig. 352) ist auf dasselbe Prinzip basiert. Es besteht aus einer großen Spule A, durch welche der Primärstrom geführt wird, und einer kleinen Sekundärspule B, welche um eine Axe drehbar und mit einem Zeiger C versehen ist, der über einen Gradbogen geführt werden kann. Steht die Axe der innern Spule senkrecht zu der der äußern Spule, so findet keine Induktion statt und der Zeiger weist auf den Nullpunkt der Schallwirkung. Wird aber die innere Spule gedreht, so wird das Gleichgewicht der Induktion proportional zur Drehung gestört und ein entsprechend starker Strom induziert.



Fig. 352.

Zum Nachweis dieser Wirkung wird die äußere Spule in ähnlicher Weise mit einem rhythmischen Interruptor verbunden, wie in Fig. 352, und die innere Spule mit einem Telephon in Verbindung gebracht.

181. Welche praktische Anwendung haben diese Apparate gefunden?

Die Induktionswage dient zum Nachweis versteckter Metallmassen, z. B. der Kugel in einer Schußwunde, oder von metallnen Gegenständen auf dem Meeresgrunde, so z. B. zum Aufsuchen gerissener Telegraphenkabel, oder anderer versunkener Metallmassen, wobei das eine Spulenpaar mit dem Senkblei verbunden über den Meeresgrund geführt wird. Sobald ein metallner Gegenstand in die Nähe dieser Spulen kommt, giebt das mit dem Apparat verbundene Telephon einen Ton von sich. Das Audiometer ist der empfindlichste Apparat zur Untersuchung der Schärfe des Gehörs.

Bibliographie.

Zeitschriften.

Elektrotechnische Zeitschrift. Herausgegeben von dem elektrotechnischen Verein. Red. von K. Ed. Zetzsche. Berlin, Springer. **20** ℳ
Zeitschrift für angewandte Elektrizitätslehre. Herausgegeben von F. Uppenborn jun. München, Oldenbourg. 20 ℳ
Der Elektrotechniker. Herausgegeben von Ad. Ungár und L. J. Wolschitz. Wien, Ungar und Comp. 6 ℳ
The Electrician. A monthly Journal, devoted to the advancement and diffusion of electric science. New York, Williams and Comp. 3 ℳ
L'Électricité. Journal scientifique. Réd. W. de Fonvielle. Paris, Administration. 20 ℳ
La Lumière électrique. Journal universel d'Électricité. Réd. Th. du Moncel. Paris, Administration. 60 ℳ
Le Téléphon. Organ spécial des entreprises téléphoniques. Bruxelles, Administration. 6 ℳ

Bücher.

Bernstein, A., Die elektrische Beleuchtung. Berlin, Springer 1880. 2 ℳ
Binder, F., Die elektrischen Telegraphen, das Telephon und Mikrophon. Populäre Darstellung ihrer Geschichte, ihrer Einrichtung und ihres Betriebes, für angehende Telegraphisten, Post- und Eisenbahnbeamte. 3. Auflage von D. Lardners „populärer Lehre von den Telegraphen". Weimar, Voigt 1880. 6 ℳ
Buchner, O., Die Konstruktion und Anlegung der Blitzableiter. 2. Aufl. Weimar, Voigt 1876. 3 ℳ 60 ₰.
Clausius, R., Mechanische Wärmetheorie. 2 Bde. 2. Aufl. Braunschweig, Vieweg u. Sohn 1876—79. 14 ℳ 40 ₰.

Coglievina, D., Das Centigrad-Photometer zur direkten Bestimmung der Intensität jeder Lichtquelle. Braunschweig, Vieweg und Sohn 1880. 2 M. 40 Pf.

Crompton, P. R., Die elektrische Beleuchtung für industrielle Zwecke. Deutsch von F. Uppenborn. München, Oldenbourg 1881. 1 M.

Doubrava, St., Über Elektrizität. Versuch einer neuen Darstellung der elektrischen Grunderscheinungen. 1. Teil. Prag, Slavik u. Borovy 1880. 2 M. 20 Pf.

Dub, J., Der Elektromagnetismus. Berlin, Springer 1861. 10 M.

— — Über den Einfluß der Dimensionen der Eisenkerne auf die Intensität der Elektromagnete. Berlin, Springer 1862. 1 M.

Edelmann, M. T., Neuere Apparate für naturwissenschaftliche Schule und Forschung. 1. u. 2. Lieferung. Stuttgart, Meyer u. Z. 1879—80. 14 M.

Ferrini, R., Technologie der Elektrizität und des Magnetismus. Zum Gebrauche für Techniker, Ingenieure, bei Vorlesungen und zum Selbstunterrichte. Aus dem Italienischen von M. Schröter. Jena, Costenoble 1879. 18 M.

Fontaine, H., Die elektrische Beleuchtung. Deutsch bearbeitet von F. Roß. 2. Aufl. Wien, Lehmann u. W. 1880. 6 M.

Grawinkel, C., Telegraphentechnik. Berlin, Springer 1876. 3 M. 40 Pf.

Hartlebens Elektrotechnische Bibliothek. Bd. 1—16. Wien, Pest, Leipzig, Hartleben 1883.

Heilemann, F. J., Der Blitzableiter. Das Neueste über dessen Herstellung und Sicherheit. Görlitz 1880. 75 Pf.

Jenkin, F., Elektrizität und Magnetismus. Aus dem Englischen von Fr. Exner. Braunschweig, Vieweg u. Sohn 1880. 9 M.

Kaselowski, G., Handbuch der Galvanoplastik. 3. Aufl. Stuttgart, Rieger 1882. 5 M.

Kohlrausch, F., Leitfaden der praktischen Physik. Mit einem Anhange: Das elektrische und magnetische absolute Maßsystem. 4. Aufl. Leipzig, Teubner 1880. 5 M. 60 Pf.

Krebs, G., Die Erhaltung der Energie als Grundlage der neueren Physik. München, Oldenbourg 1878. 3 M.

Ludewig, J., Elektrische Meßkunde. Dresden, Baensch 1878. 6 M.

Meißner, G., Die Kraftübertragung auf weite Entfernungen und die Konstruktion der Triebwerke und Regulatoren. 1. Lieferung. Jena, Costenoble 1882. 3 M.

Merling, A., Die Telegraphen-Technik der Praxis im ganzen Umfange. Hannover, Meyer 1879. 20 M.

— — Elektrotechnische Bibliothek. Braunschweig, Vieweg u. Sohn 1883.

Neumann, F., Vorlesungen über die Theorie des Magnetismus, namentlich über die Theorie der magnetischen Induktion. Leipzig, Teubner 1881. 3 ℳ 60 ₰.

Niaudet, A., Die galvanischen Elemente von Volta bis heute. Deutsch bearbeitet von W. Ph. Hauck. Braunschweig, Vieweg und Sohn 1881. 7 ℳ

— — Les machines électriques à courant continus. 2. édit. Paris 1879.

Reiß, P. Th., Die Lehre von der Reibungselektrizität. 2 Bde. Berlin, Springer 1873. 24 ℳ

Tyndall, J., Faraday und seine Entdeckungen, deutsch von H. Helmholtz. Braunschweig, Vieweg u. Sohn 1870. 4 ℳ

Schellen, H., Die neuesten Fortschritte auf dem Gebiete der elektrischen Beleuchtung und der Kraftübertragung. Köln, Du Mont-Sch. 1880. 3 ℳ

— — Die magnet- und dynamoelektrischen Maschinen, ihre Konstruktion und Anwendung zur elektrischen Beleuchtung und Kraftübertragung. Köln, Ebd. 1882. 16 ℳ

Seelhorst, G., Katechismus der Galvanoplastik. 2. Aufl. Leipzig, J. J. Weber 1879. 1 ℳ 50 ₰.

Siemens, W., Gesammelte Abhandlungen und Vorträge. Berlin, Springer 1881. 14 ℳ

— — Einige wissenschaftliche und technische Fragen der Gegenwart. Berlin, Ebd. 1879. 3 ℳ

Uhland, W. H., Die Telephonanlagen. Leipzig, Knapp 1881. 4 ℳ

Urbanitzky, A. v, Die elektrische Beleuchtung und ihre Anwendung auf die Praxis. Wien, Hartleben 1882. 4 ℳ

Wiedemann, G., Die Lehre vom Galvanismus und Elektromagnetismus nebst der Lehre von der Elektrizität. Braunschweig, Vieweg und Sohn 1882. 20 ℳ

Zech, P., Anwendung der Elektrizität auf Beleuchtung. Heidelberg, C. Winter 1882. 60 ₰.

Zetzsche, K. Ed., Kurzer Abriß der Geschichte der elektrischen Telegraphie. Berlin, Springer 1874. 3 ℳ

— — Entwickelung der automatischen Telegraphie. Berlin, Springer 1875. 1 ℳ 60 ₰.

— — Handbuch der elektrischen Telegraphie. 4 Bde. Berlin, Springer 1876 ff.

— — Katechismus der elektrischen Telegraphie. 6. Aufl. Leipzig, J. J. Weber 1883. 4 ℳ

Register.



... J. Weber in Leipzig.

Die Einteilung des Stoffes ist eine übersichtliche, die Auswahl eine geschickte und die Darstellung selbst eine solche, welche dem angestrebten Zwecke vollkommen entspricht. Der erste Abschnitt giebt die Grundzüge der mechanischen Wärmetheorie und der Theorie der Dampfmaschine; der zweite Abschnitt handelt von den Dampfkesseln, der dritte von den Dampfmaschinen; am Schlusse folgen einige Beispiele von ausgeführten Dampfmaschinen-Anlagen. Das Buch ist mit zahlreichen guten Textfiguren illustriert, und ist die Ausstattung überhaupt eine sehr ansprechende. Wir glauben es allen jenen, welche sich auf dem Gebiete des Dampfmaschinenwesens in den allgemeinen Grundzügen unterrichten wollen, aufs beste empfehlen zu sollen.

Engineer.

In fact, we do not know any work in English offering to the students so clear, concise and practical an exposition of the facts of the steam engine as will be found here. This catechism is not only well done in itself, but also brought well up to date.

Wochenschrift des Vereins deutscher Ingenieure.

Der Verfasser hat sich die Vorteile der katechetischen Form in hohem Grade nutzbar gemacht und dadurch eine klare Einteilung und übersichtliche Gliederung des Stoffes gewonnen. Dieser letztere umfasst als einleitende Abteilung die Physik des Wasserdampfes, in welcher namentlich die Lehren der mechanischen Wärmetheorie recht fasslich vorgetragen werden, sowie die beiden Hauptkapitel Dampfkessel und Dampfmaschinen. Von beiden lässt sich anführen, dass die neuesten Erscheinungen der Technik, und zwar mit verständiger Auswahl unter der grossen Menge derselben, Berücksichtigung gefunden haben: neuere Röhrenkessel wie Präzisionssteuerungen sind in ihren Haupttypen vertreten. Hervorheben in unserer Besprechung wollen wir noch den gelungenen Abschnitt, welcher die Beurteilung der Maschinen aus den abgenommenen Indikatordiagrammen behandelt.

Allgemeine polytechnische Zeitung für Textilindustrie, Motoren u. s. w.

Dieser Katechismus ist ein wohlgelungener Leitfaden zum Unterricht und zur Instruktion über das Wesen und die Benutzung von Wärme und Wasserdampf für Motoren, über die Konstruktion und Benutzung der Dampfkessel und Dampfmaschinen. Er verbindet mit einer höchst günstig hervortretenden Auswahl und Verbindung des gewaltigen, hierfür vorliegenden Stoffes eine Meisterschaft der deutlichen und in wenig Worten viel sagenden Behandlung und Verarbeitung desselben, so dass wohl ausgesprochen zu werden verdient, dass dieser Katechismus in seinen 144 Fragen und Antworten auf 235 Seiten alles das enthält, was dem Praktiker zur Lehre und Information über den Dampfbetrieb wünschenswert sein kann. Dazu ist die Darstellung von vielen wertvollen Winken über Wartung der Kessel, gute Verbrennung, Heizfläche, Armatur, Bestimmung des Nutzeffektes u. s. w. durchflochten, welche neben der Lehre guten Rat erteilen. — Die Ausstattung des Buches ist vortrefflich. Dasselbe sei angelegentlichst empfohlen.

Gesundheits-Ingenieur.

Herr Ingenieur Schwartze ist, wie wenige, in der Lage, als Redacteur des sehr verbreiteten Fachblattes „Der Maschinenbauer“, dem wir schon manche wertvolle Mitteilung entnommen haben, das neueste aus der Praxis und Theorie dieses Faches in gedrängter und verständlicher Form zu bieten. Herr Schwartze war mit einer der Ersten, die für das jetzt immer allgemeiner werdende Compoundsystem eingetreten sind, und es ist seine Arbeit hoch anzuerkennen.

Das Buch bespricht in Form von Frage und Antwort das ganze Gebiet in sehr ausführlicher Weise: das Wesen der Dampfmaschine, den Begriff „Dampfmaschine“, wann sie erfunden wurde, die Lehre von der Wärme, die Eigenschaften des Wasserdampfes, den Verbrennungsprozess und die Brennmaterialien, die verschiedenen Konstruktionen der Feuerungen und Kessel bis zur neuesten Zeit, ebenso die Konstruktionsdetails der Dampfmaschinen und ihre Wirkungsweisen und zum Schluss die Berechnung und Untersuchung der Dampfmaschinen.

Wer nicht ganz speziell dieses Fach studieren will als Constructeur, kann sich hiermit vollständig begnügen; er

wird in diesem kleinen, sehr hübsch ausgestatteten Buche sich in der Hauptsache über alles Vorkommende informieren können. Ein alphabetisches Register ermöglicht noch das Nachschlagen nach dem Namen des gesuchten zu erläuternden Gegenstandes.

Deutsche Gewerbeschau. Zentralorgan für die gewerblichen Vereine Deutschlands.

Das vorliegende sehr hübsch ausgestattete Buch, Nr. 110 in der Reihe der beliebten Weberschen Katechismen, erfreut sich bereits allgemeiner Anerkennung seitens der bedeutendsten Autoritäten und im weiten Kreise der Fachleute; dasselbe steht in der That auf der Höhe der Zeit und darf sich der Verfasser etwas darauf zugute thun, dass er mit zuerst für den Wert der Compoundmaschinen eingetreten ist und für deren allgemeinere Anwendung mit beigetragen hat. Die Behandlung des Stoffes ist so gewählt, dass dieser Katechismus als ein kleines „Kompendium der stationären Dampfmaschinen“ betrachtet werden kann, und dass der Anfänger daraus Belehrung schöpfen, der Industrielle daraus sich Rats erholen und der Fachmann darin eine Gedächtnishülfe finden kann. Bei dem billigen Preise kann sich jeder Interessent das Büchlein leicht anschaffen, und somit sei dasselbe unseren Lesern bestens empfohlen.

Die Mühle. Zeitschrift für die Interessenten der deutschen Mühlenindustrie.

Das nicht umfängliche, sauber ausgestattete Werkchen gehört zu jener Minderzahl von Büchern, welche bei geringem Umfange ungemein viel bieten. Es ist ein „Kompendium des Dampfmaschinenwesens“, eine „Dampfmaschinenlehre“ *in nuce.* Für Praktiker und das praktische Leben berechnet, vermeidet es weitläufige theoretische Erörterungen, giebt aber solche, wo sie am Platze sind, in gedrängter Kürze. Die zahlreichen Abbildungen ergänzen den Text und tragen zum Verständnis desselben wesentlich bei. Das Buch ist in einer sehr leicht fasslichen Sprache geschrieben, sodass es auch nach dieser, wie überhaupt in jeder Richtung zu empfehlen ist.

***Baustile.** Achte Auflage. — **Katechismus der Baustile, oder Lehre der** architektonischen Stilarten von den ältesten Zeiten bis auf die Gegenwart. Von Dr. Ed. Freiherrn von Sacken. Achte, verbesserte Auflage. Mit einem Verzeichnis von Kunstausdrücken und 103 in den Text gedruckten Abbild. M. 2

Bibliothekenlehre. Dritte Auflage. — **Katechismus der Bibliothekenlehre.** Anleitung zur Einrichtung und Verwaltung von Bibliotheken. Von Dr. Jul. Petzholdt. Dritte, verbesserte Auflage. Mit 17 in den Text gedruckten Abbildungen und 15 Schrifttafeln. M. 2

Bienenkunde. Zweite Auflage. — **Katechismus der Bienenkunde und** Bienenzucht. Von G. Kirsten. Zweite, verbesserte Auflage. Mit 47 in den Text gedruckten Abbildungen. M. 1

Bleicherei s. Wäscherei 2c.

Börsengeschäft. Zweite Auflage. — **Katechismus des Börsengeschäfts,** des Fonds- und Aktienhandels. Von Hermann Hirschbach. Zweite, gänzlich umgearbeitete Auflage. M. 1. 50

Botanik. — **Katechismus der Allgemeinen Botanik. Von Prof. Dr.** Ernst Hallier. Mit 95 in den Text gedruckten Abbildungen. M. 2

Botanik, landwirtschaftliche. Zweite Auflage. — **Katechismus der land-** wirtschaftlichen Botanik. Von Karl Müller. Zweite, vollständig umgearbeitete Auflage von R. Herrmann. Mit 4 Tafeln und 48 in den Text gedruckten Abbildungen. M. 1. 50

***Buchdruckerkunst.** Fünfte Auflage. — **Katechismus der Buchdrucker-** kunst und der verwandten Geschäftszweige. Von C. A. Franke. Fünfte, vermehrte und verbesserte Auflage, bearbeitet von Alexander Waldow. Mit 43 in den Text gedruckten Abbildungen und Tafeln. M. 2. 50

***Buchführung.** Dritte Auflage. — **Katechismus der kaufmännischen Buch-** führung. Von Oskar Klemich. Dritte, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 7 in den Text gedruckten Abbildungen und 3 Wechselformularen. M. 2

***Buchführung, landwirtschaftliche.** — **Katechismus der landwirtschaft-** lichen Buchführung. Von Prof. K. Birnbaum. M. 2

***Chemie.** Fünfte Auflage. — **Katechismus der Chemie. Von Prof. Dr. H.** Hirzel. Fünfte, vermehrte Auflage. Mit 31 in den Text gedruckten Abbildungen. M. 3

***Chemikalienkunde.** — **Katechismus der Chemikalienkunde. Eine kurze** Beschreibung der wichtigsten Chemikalien des Handels. Von Dr. G. Heppe. M. 2

***Chronologie.** Dritte Auflage. — **Kalenderbüchlein. Katechismus der** Chronologie mit Beschreibung von 33 Kalendern verschiedener Völker und Zeiten. Von Dr. Adolph Drechsler. Dritte, verbesserte und sehr vermehrte Auflage. M. 1. 50

***Dampfmaschinen.** Zweite Auflage. — **Katechismus der stationären** Dampfkessel und Dampfmaschinen. Ein Lehr- und Nachschlagebüchlein für Praktiker, Techniker und Industrielle. Von Ingenieur Th. Schwartze. Zweite, verbesserte und vermehrte Auflage. Mit 218 in den Text gedruckten und 8 Tafeln Abbildungen. M. 3

***Drainierung.** Dritte Auflage. — **Katechismus der Drainierung und der** Entwässerung des Bodens überhaupt. Von Dr. William Löbe. Dritte, gänzlich umgearbeitete Auflage. Mit 92 in den Text gedr. Abbildungen. M. 2

Dramaturgie. — **Katechismus der Dramaturgie. Von R. Prölß.** M. 2. 50

***Droguenkunde.** — **Katechismus der Droguenkunde. Von Dr. G. Heppe.** Mit 30 in den Text gedruckten Abbildungen. M. 2. 50

Einjährig-Freiwillige. Zweite Ausgabe. — **Katechismus für den Einjährig-Freiwilligen.** Von M. von Süßmilch, gen. Hörnig. Zweite, durchgesehene Ausgabe. Mit 52 in den Text gedruckten Abbildungen. M. 2. 50

***Elektrotechnik.** Zweite Auflage. — **Katechismus der Elektrotechnik.** Ein Lehrbuch für Praktiker, Techniker und Industrielle. Von Ingenieur Th. Schwartze. Zweite, verbesserte und vermehrte Auflage. Mit 352 in den Text gedruckten Abbildungen. M. 4. 50

***Ethik.** — **Katechismus der Sittenlehre. Von Lic. Dr. Friedrich Kirchner.** M. 2. 50

***Farbwarenkunde.** — **Katechismus der Farbwarenkunde. Von Dr. G. Heppe.** M. 2

***Färberei und Zeugdruck.** Zweite Auflage. — **Katechismus der Färberei und des** Zeugdrucks. Von Dr. Herm. Grothe. Zweite, vollständig neu bearbeitete Auflage. Mit 78 in den Text gedruckten Abbildungen. M. 2. 50

***Feldmeßkunst.** Vierte Auflage. — **Katechismus der Feldmeßkunst mit** Kette, Winkelspiegel und Meßtisch. Von Fr. Herrmann. Vierte, durchgesehene Auflage. Mit 92 in den Text gedruckten Figuren und einer Flurkarte. M. 1. 50

***Feuerlöschwesen.** [In Vorbereitung.

***Feuerwerkerei.** — **Katechismus der Lustfeuerwerkerei. Kurzer Lehrgang** für die gründliche Ausbildung in allen Teilen der Pyrotechnik. Von C. A. v. Nida. Mit 124 in den Text gedruckten Abbildungen. M. 2

***Finanzwissenschaft.** Vierte Auflage. — **Katechismus der Finanzwissenschaft** oder die Kenntnis der Grundbegriffe und Hauptlehren der Verwaltung der Staatseinkünfte. Von A. Bischof. Vierte, verb. u. verm. Aufl. M. 1. 50

***Fischzucht.** — **Katechismus der Fischzucht. Von F. Meyer.** [In Vorbereitung.

Flachsbau. — **Katechismus des Flachsbaues und der Flachsbereitung.** Von K. Sonntag. Mit 12 in den Text gedruckten Abbildungen. M. 1

***Fleischbeschau.** — **Katechismus der mikroskopischen Fleischbeschau. Von** F. W. Rüffert. Mit 28 in den Text gedruckten Abbildungen. M. 1

***Forstbotanik.** Vierte Auflage. — **Katechismus der Forstbotanik. Von** H. Fischbach. Vierte, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 79 in den Text gedruckten Abbildungen. M. 2. 50

Galvanoplastik. Zweite Auflage. — **Katechismus der Galvanoplastik.** Ein Handbuch für das Selbststudium und den Gebrauch in der Werkstatt. Von Dr. G. Seelhorst. Zweite, vollständig umgearbeitete Auflage. Mit Titelbild und 40 in den Text gedruckten Abbildungen. M. 1. 50

***Gedächtniskunst.** Fünfte Auflage. — **Katechismus der Gedächtniskunst** oder Mnemotechnik. Von Hermann Kothe. Fünfte, von J. B. Montag sehr verbesserte und vermehrte Auflage. M. 1. 50

***Geographie.** Vierte Auflage. — **Katechismus der Geographie.** Vierte Auflage, gänzlich umgearbeitet von Karl Arenz, Kaiserl. Rat und Direktor der Prager Handelsakademie. Mit 57 Karten und Ansichten. M. 2. 40

***Geographie, mathematische.** — **Katechismus der mathemat. Geographie.** Von Dr. Ad. Drechsler. Mit 113 in den Text gedr. Abbildungen. M. 2. 50

* **Geologie.** Vierte Auflage. — **Katechismus der Geologie, oder Lehre vom** innern Bau der festen Erdkruste und von deren Bildungsweise. Von Prof. H. Haas. Vierte, verbesserte Auflage. Mit 144 in den Text gedruckten Abbildungen und einer Tabelle. M. 3.

***Geometrie, analytische.** — **Katechismus der analytischen Geometrie.** Von Dr. Max Friedrich. Mit 56 in den Text gedr. Abbild. M. 2. 40

Geometrie. Zweite Auflage. — **Katechismus der ebenen und räumlichen** Geometrie. Von Prof. Dr. K. Ed. Zetzsche, Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 209 in den Text gedruckten Figuren und 2 Tabellen zur Maßverwandlung. M. 2.

***Gesangskunst.** Vierte Auflage. — **Katechismus der Gesangskunst.** Von F. Sieber. Vierte, verbesserte und vermehrte Auflage. Mit vielen in den Text gedruckten Notenbeispielen. M. 2. 40

Geschichte f. Weltgeschichte.

Geschichte, deutsche. — **Katechismus der deutschen Geschichte.** Von Dr. Wilh. Kentzler. M. 2. 50

Gesundheitslehre f. Makrobiotik.

***Girowesen.** — **Katechismus des Girowesens.** Von **Karl Berger.** Mit 21 Geschäfts-Formularen. M. 2

***Handelskorrespondenz.** — **Katechismus der kaufm. Korrespondenz in** deutscher Sprache. Von C. F. Findeisen. M. 2

***Handelsrecht.** Dritte Auflage. — **Katechismus des deutschen Handelsrechts,** nach dem Allgem. Deutschen Handelsgesetzbuche. Von Reg.-Rat Robert Fischer. Dritte, umgearbeitete Auflage. M. 1. 50

Handelswissenschaft. Fünfte Auflage. — **Katechismus der Handelswissenschaft.** Von K. Arenz. Fünfte, verbesserte und vermehrte Auflage. M. 1. 50

***Heizung, Beleuchtung und Ventilation.** — **Katechismus der Heizung,** Beleuchtung und Ventilation. Von Ingenieur Th. Schwartze. Mit 159 in den Text gedruckten Abbildungen. M. 3

***Heraldik.** Vierte Auflage. — **Katechismus der Heraldik. Grundzüge** der Wappenkunde. Von Dr. Ed. Freih. v. Sacken. Vierte, verbesserte Auflage. Mit 202 in den Text gedruckten Abbildungen. M. 2

Hufbeschlag. Zweite Auflage. — **Katechismus des Hufbeschlages. Zum** Selbstunterricht für jedermann. Von E. Th. Walther. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 67 in den Text gedr. Abbild. M. 1. 20

Hüttenkunde. — **Katechismus der allgemeinen Hüttenkunde. Von Dr.** E. F. Dürre. Mit 209 in den Text gedruckten Abbildungen. M. 4

Kalenderbüchlein f. Chronologie.

Kalenderkunde. — **Katechismus der Kalenderkunde. Belehrungen über** Zeitrechnung, Kalenderwesen und Feste. Von O. Freih. v. Reinsberg-Düringsfeld. Mit 2 in den Text gedruckten Tafeln. M. 1

Kindergärtnerei. Zweite Auflage. — **Katechismus der praktischen Kindergärtnerei.** Von Fr. Seidel. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 35 in den Text gedruckten Abbildungen. M. 1. 20

***Kirchengeschichte.** — **Katechismus der Kirchengeschichte. Von Lic. Dr.** Friedrich Kirchner. M. 2. 50

***Klavierspiel.** — **Katechismus des Klavierspiels. Von Franklin** Taylor, deutsch von Mathilde Stegmayer. Mit vielen in den Text gedruckten Notenbeispielen. M. 1. 50

***Kompositionslehre.** Vierte Auflage. — **Katechismus der Kompositionslehre.** Von Prof. J. C. Lobe. Vierte, verbesserte Auflage. Mit vielen in den Text gedruckten Musikbeispielen. M. 2

Korrespondenz s. Handelskorrespondenz.

***Kriegsmarine, Deutsche.** — **Katechismus der Deutschen Kriegsmarine.** Von Prem.-Lieut. G. Pavel. Mit 3 Abbildungen. M. 1. 50

***Kulturgeschichte.** — **Katechismus der Kulturgeschichte. Von J. J. Honegger.** M. 2

***Kunstgeschichte.** Zweite Auflage. — **Katechismus der Kunstgeschichte.** Von Bruno Bucher. Zweite, verbesserte Auflage. Mit 276 in den Text gedruckten Abbildungen. M. 4

Litteraturgeschichte. Zweite Auflage. — **Katechismus der allgemeinen** Litteraturgeschichte. Von Dr. Ad. Stern. Zweite, durchgesehene Auflage. M. 2. 40

***Litteraturgeschichte, deutsche.** Sechste Auflage. — **Katechismus der** deutschen Litteraturgeschichte. Von Oberschulrat Dr. Paul Möbius. Sechste, vervollständigte Auflage. M. 2

***Logarithmen.** — **Katechismus der Logarithmen. Von Max Meyer.** Mit 3 Tafeln Logarithmen und trigonometrischen Zahlen und 7 in den Text gedruckten Abbildungen. M. 2

***Logik.** — **Katechismus der Logik. Von Lic. Dr. Friedr. Kirchner.** Mit 36 in den Text gedruckten Abbildungen. M. 2. 50

***Lustfeuerwerkerei** s. Feuerwerkerei.

Makrobiotik. Dritte Auflage. — **Katechismus der Makrobiotik, oder der** Lehre, gesund und lange zu leben. Von Dr. med. H. Klencke. Dritte, durchgearbeitete und verm. Auflage. Mit 63 in den Text gedr. Abbildungen. M. 2

Marine s. Kriegsmarine.

***Mechanik.** Dritte Auflage. — **Katechismus der Mechanik. Von Ph. Huber.** Dritte, vermehrte Auflage. Mit 156 in den Text gedruckten Figuren. M. 2

Meteorologie. Zweite Auflage. — **Katechismus der Meteorologie. Von** Heinr. Gretschel. Zweite, verbesserte und vermehrte Auflage. Mit 53 in den Text gedruckten Abbildungen. M. 1. 50

***Mikroskopie. Katechismus der Mikroskopie. — Von Prof. Carl** Chun. Mit 97 in den Text gedruckten Abbildungen. M. 2

***Milchwirtschaft.** — **Katechismus der Milchwirtschaft. Von Dr. Eugen** Werner. Mit 23 in den Text gedruckten Abbildungen. M. 3

Mineralogie. Dritte Auflage. — **Katechismus der Mineralogie. Von** Prof. Dr. G. Leonhard. Dritte, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 150 in den Text gedruckten Abbildungen. M. 1. 20

Mnemotechnik s. Gedächtniskunst.

***Musik.** Dreiundzwanzigste Auflage. — **Katechismus der Musik. Erläuterung** der Begriffe und Grundsätze der allgemeinen Musiklehre. Von Prof. J. C. Lobe. Dreiundzwanzigste Auflage. M. 1. 50

Musikgeschichte. — **Katechismus der Musikgeschichte. Von R. Musiol.** Mit 14 in den Text gedruckten Abbildungen und 34 Notenbeispielen. M. 2

***Musikinstrumente.** Vierte Auflage. — **Katechismus der Musikinstrumente.** Von F. L. Schubert. Vierte, verbesserte und vermehrte Auflage, bearbeitet von Rob. Musiol. Mit 62 in den Text gedr. Abbildungen. M. 1. 50

***Mythologie.** Vierte Auflage. — **Katechismus der Mythologie aller Kulturvölker.** Von Prof. Dr. Johannes Minckwitz. Vierte Auflage. Mit 72 in den Text gedruckten Abbildungen. M. 2. 50

Naturlehre. Dritte Auflage. — **Katechismus der Naturlehre, oder** Erklärung der wichtigsten physikalischen und chemischen Erscheinungen des täglichen Lebens. Nach dem Englischen des Dr. C. E. Brewer. Dritte, von Heinrich Gretschel umgearb. Auflage. Mit 55 in den Text gedr. Abbildungen. M. 2

***Nivellierkunst.** Dritte Auflage. — **Katechismus der Nivellierkunst.** Mit besonderer Rücksicht auf praktische Anwendung bei Erdarbeiten, Bewässerungen, Drainieren, Wiesen- und Wegebau rc. Dritte, verm. und verb. Auflage. Mit vielen in den Text gedr. Figuren. [In Vorbereitung.

***Nutzgärtnerei.** Vierte Auflage. — **Katechismus der Nutzgärtnerei, oder** Grundzüge des Gemüse- und Obstbaues. Von Hermann Jäger. Vierte, verm. und verb. Auflage. Mit 54 in den Text gedr. Abbildungen. M. 2

***Orgel.** Dritte Auflage. — **Katechismus der Orgel. Erklärung ihrer** Struktur, besonders in Beziehung auf technische Behandlung beim Spiel. Von Prof. E. F. Richter. Dritte, durchgesehene Auflage. Mit 25 in den Text gedruckten Abbildungen. M. 1. 50

***Ornamentik.** Dritte Auflage. — **Katechismus der Ornamentik. Leitfaden** über die Geschichte, Entwickelung und die charakteristischen Formen der Verzierungsstile aller Zeiten. Von F. Kanitz. Dritte, verbesserte Auflage. Mit 131 in den Text gedruckten Abbildungen und einem Verzeichnis von 100 Spezialwerken zum Studium der Ornamentikstile. M. 2

Orthographie. Vierte Auflage. — **Katechismus der deutschen Orthographie.** Von Dr. D. Sanders. Vierte, verbesserte Auflage. M. 1. 50

***Petrographie.** — **Katechismus der Petrographie. Lehre von der** Beschaffenheit, Lagerung und Bildungsweise der Gesteine. Von Dr. J. Blaas. Mit 40 in den Text gedruckten Abbildungen. M. 2

***Philosophie.** Zweite Auflage. — **Katechismus der Philosophie.** Von J. H. v. Kirchmann. Zweite, verbesserte Auflage. M. 2. 50

*——— Zweite Auflage. — **Katechismus der Geschichte der Philosophie** von Thales bis zur Gegenwart. Von Lic. Dr. Fr. Kirchner. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. M. 3

***Photographie.** Dritte Auflage. — **Katechismus der Photographie, oder** Anleitung zur Erzeugung photographischer Bilder. Von Dr. J. Schnauß. Dritte, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 28 in den Text gedruckten Abbildungen. M. 2

***Phrenologie.** Siebente Auflage. — **Katechismus der Phrenologie.** Von Dr. G. Scheve. Siebente Auflage. Mit einem Titelbild und 18 in den Text gedruckten Abbildungen. M. 2

***Physik.** Dritte Auflage. — **Katechismus der Physik.** Von Heinrich Gretschel. Dritte, verbesserte und vermehrte Auflage. Mit 157 in den Text gedruckten Abbildungen. M. 2. 50

Poetik. Zweite Auflage. — **Katechismus der deutschen Poetik.** Von Prof. Dr. J. Minckwitz. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. M. 1. 50

***Psychologie.** — **Katechismus der Psychologie.** Von Lic. Dr. Fr. Kirchner. M. 3

Raumberechnung. Zweite Auflage. — **Katechismus der Raumberechnung, oder Anleitung zur Größenbestimmung von Flächen und Körpern jeder Art.** Von Fr. Herrmann. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 59 in den Text gedruckten Abbildungen. M. 1. 20

***Redekunst.** Dritte Auflage. — **Katechismus der Redekunst. Anleitung zum mündlichen Vortrage.** Von Dr. Roderich Benedix. Dritte, durchgesehene Auflage. M. 1. 50

***Registratur- und Archivkunde.** — **Katechismus der Registratur- und Archivkunde.** Handbuch für das Registratur- und Archivwesen bei den Reichs-, Staats-, Hof-, Kirchen-, Schul- und Gemeindebehörden, den Rechtsanwälten ꝛc., sowie bei den Staatsarchiven. Von Georg Holtzinger. Mit Beiträgen von Dr. Friedr. Leist. M. 3

***Reichspost.** — **Katechismus der Deutschen Reichspost.** Von Wilh. Lenz. Mit 10 in den Text gedruckten Formularen. M. 2. 50

***Reichsverfassung.** Zweite Auflage. — **Katechismus des Deutschen Reiches.** Ein Unterrichtsbuch in den Grundsätzen des deutschen Staatsrechts, der Verfassung und Gesetzgebung des Deutschen Reiches. Von Dr. Wilh. Zeller. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. M. 3

***Rosenzucht.** — **Katechismus der Rosenzucht.** Von Herm. Jäger. Mit 52 in den Text gedruckten Abbildungen. M. 2

***Schachspielkunst.** Neunte Auflage. — **Katechismus der Schachspielkunst.** Von K. J. S. Portius. Neunte, vermehrte und verbesserte Aufl. M. 2

Schreibunterricht. Zweite Auflage. — **Katechismus des Schreibunterrichts.** Zweite, neubearbeitete Auflage. Von Herm. Kaplan. Mit 147 in den Text gedruckten Figuren. M. 1

***Schwimmkunst.** — **Katechismus der Schwimmkunst.** Von Martin Schwägerl. Mit 113 in den Text gedruckten Abbildungen. M. 2

Spinnerei und Weberei. Zweite Auflage. — **Katechismus der Spinnerei,** Weberei und Appretur, oder Lehre von der mechanischen Verarbeitung der Gespinstfasern. Von Herm. Grothe. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 101 in den Text gedruckten Abbildungen. M. 1. 50

Sprachlehre. Dritte Auflage. — **Katechismus der deutschen Sprachlehre.** Von Dr. Konrad Michelsen. Dritte, verbesserte Auflage, herausgegeben von Ed. Michelsen. M. 2

Stenographie. — **Katechismus der deutschen Stenographie.** Ein Leitfaden für Lehrer und Lernende der Stenographie im allgemeinen und des Systems von Gabelsberger im besondern. Von Heinrich Krieg. Mit vielen in den Text gedruckten stenographischen Vorlagen. M. 2

***Stilistik.** — **Katechismus der Stilistik. Ein Leitfaden zur Ausarbeitung** schriftlicher Aufsätze. Von Dr. Konrad Michelsen. M. 2

***Tanzkunst.** Vierte Auflage. — **Katechismus der Tanzkunst. Ein Leitfaden** für Lehrer und Lernende. Von Bernhard Klemm. Vierte, verbesserte und vermehrte Auflage. Mit vielen in den Text gedruckten Abbildungen. M. 2. 50

***Telegraphie.** Sechste Auflage. — **Katechismus der elektrischen Telegraphie.** Von Prof. Dr. K. Ed. Zetzsche. Sechste, völlig umgearbeitete Auflage. Mit 315 in den Text gedruckten Abbildungen. M. 4

***Tierzucht, landwirtschaftliche.** — **Katechismus der landwirtschaftlichen** Tierzucht. Von Dr. Eugen Werner. Mit 20 in den Text gedruckten Abbildungen. M. 2. 50

☞ **Gebunden** sind zurzeit nur die mit * versehenen Bändchen zu haben.

***Trigonometrie.** — **Katechismus der ebenen und sphärischen Trigonometrie.** Von Franz Bendt. Mit 36 in den Text gedr. Abbild. M. 1. 50

***Turnkunst.** Fünfte Auflage. — **Katechismus der Turnkunst. Von Dr. M. Kloss.** Fünfte, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 104 in den Text gedruckten Abbildungen. M. 2. 50

***Uhrmacherkunst.** Dritte Auflage. — **Katechismus der Uhrmacherkunst.** Von F. W. Rüffert. Dritte, vollständig neu bearbeitete Auflage. Mit 229 in den Text gedruckten Abbildungen und 7 Tabellen. M. 4

Unterricht. Zweite Auflage. — **Katechismus des Unterrichts und der** Erziehung. Von Dr. C. F. Lauckhard. Zweite, verbesserte und vermehrte Auflage. Mit 40 in den Text gedruckten Abbildungen. M. 1. 20

***Urkundenlehre.** — **Katechismus der Diplomatik, Paläographie, Chronologie** und Sphragistik. Von Dr. Fr. Leist. Mit 5 Tafeln Abbild. M. 4

Versicherungswesen. — **Katechismus des Versicherungswesens. Von** Oskar Lemcke. M. 1. 50

***Verskunst.** Zweite Auflage. — **Katechismus der deutschen Verskunst.** Von Dr. Roderich Benedix. Zweite Auflage. M. 1. 20

***Versteinerungskunde.** Von Prof. H. Haas. Mit vielen in den Text gedruckten Abbildungen. [Unter der Presse.

Völkerrecht. — **Katechismus des Völkerrechts. Mit Rücksicht auf die** Zeit- und Streitfragen des internationalen Rechtes. Von A. Bischof. M. 1. 20

***Volkswirtschaftslehre.** Dritte Auflage. — **Katechismus der Volkswirtschaftslehre.** Katechismus in den Anfangsgründen der Wirtschaftslehre. Von Dr. Hugo Schober. Dritte, umgearbeitete Auflage. M. 3

Warenkunde. Vierte Auflage. — **Katechismus der Warenkunde. Von** E. Schick. Vierte, von Dr. G. Heppe neu bearbeitete Auflage. M. 2. 40

***Wäscherei, Reinigung und Bleicherei.** Zweite Auflage. — **Katechismus** der Wäscherei, Reinigung und Bleicherei. Von Dr. Herm. Grothe in Berlin. Zweite, umgearbeitete Auflage. Mit 41 in den Text gedr. Abbild. M. 2.

***Wechselrecht.** Dritte Auflage. — **Katechismus des allgemeinen deutschen** Wechselrechts. Mit besonderer Berücksichtigung der Abweichungen und Zusätze der österreichischen und ungarischen Wechselordnung und des eidgenössischen Wechsel- und Check-Gesetzes. Von Karl Arenz. Dritte, ganz umgearbeitete und vermehrte Auflage. M. 2

Weinbau. Zweite Auflage. — **Katechismus des Weinbaues. Von Fr.** Jac. Dochnahl. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 38 in den Text gedruckten Abbildungen. M. 1. 20

***Weltgeschichte.** Zweite Auflage. — **Katechismus der Allgemeinen Welt**geschichte. Von Theodor Flathe. Zweite Auflage. Mit 5 Stammtafeln und einer tabellarischen Übersicht. M. 3

Ziergärtnerei. Vierte Auflage. — **Katechismus der Ziergärtnerei, oder** Belehrung über Anlage, Ausschmückung und Unterhaltung der Gärten, so wie über Blumenzucht. Von H. Jäger. Vierte, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 69 in den Text gedruckten Abbildungen. M. 2

Zoologie. — **Katechismus der Zoologie. Von Prof. C. G. Giebel.** Mit 125 in den Text gedruckten Abbildungen. M. 2

Verlag von J. J. Weber in Leipzig.

Leipzig.

☞ Geb[...] ersehenen Bändchen zu haben.

